

CAPÍTULO 8

RESÍDUOS AGRÍCOLAS DO NORDESTE BRASILEIRO E SEU POTENCIAL LIGNOCELULÓSICO

Grayce Kelly Carvalho de Oliveira¹; Clara Virgínia Marques Santos²;
Isabelly Pereira da Silva²; Daniel Pereira da Silva²;
Denise Santos Ruzene¹

¹*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe*
²*Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe*

1 Introdução

O crescente interesse em todo o mundo no desenvolvimento de tecnologias “verdes” que possibilitem o uso de produtos de menor impacto ambiental (ELLIOT, 2005), as preocupações com as mudanças climáticas e as medidas que vêm sendo adotadas no mundo para seu controle deverão ter impacto direto na atividade industrial. Nesse contexto, abrem-se oportunidades para o desenvolvimento de uma indústria baseada em matérias primas renováveis. Um fluxo de inovações em desenvolvimento pode estar lançando o apoio para uma indústria integrada na exploração da biomassa (biorrefinaria) (COUTINHO e BOMTEMPO, 2010).

No ano de 2014, o Brasil produziu mais de 1 bilhão de toneladas de cultivos agrícolas (IBGE, 2015a), viabilizado graças a diferentes razões incluindo a disponibilidade de área para o cultivo, possibilidade de introdução de culturas variadas, posição geográfica favorecida, clima tropical, além de sua riquíssima biodiversidade e tecnologia avançada, tudo que permite ao Brasil manter uma posição privilegiada no campo das ciências agrárias, tornando-se assim um dos maiores produtores agrícolas mundiais (PAULA *et al.*, 2011). Como resultado disso há uma grande geração de resíduos, conseqüentemente uma grande quantidade de biomassa lignocelulósica que não são satisfatoriamente e/ou adequadamente aproveitadas. Nesse contexto, biomassas lignocelulósicas são as matérias-primas mais promissoras sendo essencial para o funcionamento das sociedades industriais modernas, isto em especial por ser um recurso natural e renovável. Uma

quantidade considerável destes materiais está sendo gerado por meio de práticas agrícolas e de indústrias de base agro industrial (PÉREZ *et al.*, 2002).

Por isso a disponibilidade de material lignocelulósico junto à necessidade de tecnologias de menor impacto ambiental abre oportunidades de vários estudos e pesquisas, fundamentado no reaproveitamento destes resíduos dentro de uma perspectiva de biorrefinaria contribuindo assim para o meio ambiente e ajudando na relação custo-benefício de várias indústrias. Percebe-se um crescente interesse no reaproveitamento destes resíduos para obtenção de produtos de maior valor agregado, como os biocombustíveis, energia e fontes de energias baratas para a fermentação microbiana e a produção de enzimas, já que a maior parte desta biomassa é eliminada por incineração (ISROI *et al.*, 2011; MICHELIN *et al.*, 2011; IQBAL *et al.*, 2013; IRSHAD *et al.*, 2013).

2 Biomassa

A biomassa é uma das fontes de obtenção de energia com maior potencial de crescimento tanto na esfera nacional quanto na internacional, considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2015; BIOMASSA-BR, 2015).

Toda matéria orgânica que se origina a partir de plantas, incluindo as algas, as árvores e os cultivos, pode ser considerada biomassa. A fonte de biomassa é a energia solar que é armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais da matéria orgânica, quando estas ligações são quebradas haverá a liberação da energia química presente na biomassa. Menos de 1% da luz solar disponível é convertida em energia química pela fotossíntese (MCKENDRY, 2002). Neste sentido, a biomassa pode ser proveniente de recursos agrícolas que são considerados um material de baixo valor, limpo e renovável sendo uma fonte alternativa aos combustíveis fósseis. Portanto, os subprodutos agrícolas (resíduos agrícolas ou agroindustriais) podem desempenhar um papel crucial na evolução de biocombustíveis

sustentáveis a fim de reduzir a carga na importação de combustíveis e resolver o problema de descarte destes resíduos (SUMMOOGUM-UTCHANA e SWAMI, 2015).

Entretanto, existem diversas formas de conversão da biomassa energética, desde a simples combustão ou queima para a obtenção da energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos complexos para a obtenção de combustíveis líquidos e gasosos (MMA, 2015). De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), existem 517 termelétricas movidas à biomassa no país, que correspondem a um total de 13.249.323 KW (quilowatts) instalados. Do total de usinas relacionadas, 17 são abastecidas por licor negro (resíduo da celulose) com potência total de 1.978.136 KW, 49 por resíduos florestais (381.925 KW), 2 por biogás (1.722 KW), 12 por casca de arroz (45.333 KW) e 394 por bagaço de cana (10.531.820 KW).

O Brasil pode assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso como recurso energético da biomassa, pois possui condições naturais e geográficas propícias a este recurso. O país recebe intensa radiação solar ao longo do ano, que é a fonte de energia fundamental para a produção de biomassa; outro fator importante é seu espaço geográfico, que possui uma grande quantidade de terra agriculturável com características adequadas do solo e condições climáticas favoráveis (MMA, 2015).

3 Biomassa Lignocelulósica

A biomassa lignocelulósica é o tipo de biomassa mais promissora como recurso natural, podendo vir a proporcionar um fornecimento de combustível sustentável a longo prazo (ALONSO *et al.*, 2008; GOH *et al.*, 2010), considerado o mais abundante recurso renovável da terra (ZHANG e LYND, 2004). Segundo Zhang e Lynd (2004), um bilhão de toneladas de biomassa seca produziria entre 80-130 bilhões de galões de etanol celulósico, entretanto para obter sistemas que sejam economicamente viáveis e sustentáveis é necessário utilizar eficientemente todas as frações das matérias-primas (GALBE e ZACCHI, 2007).

A maioria dos resíduos dos alimentos (resíduos agrícolas) e os resíduos provenientes das indústrias de processamento de alimento (resíduos agroindustriais) são resíduos lignocelulósicos presentes na natureza, com uma estimativa global de até 1,3 bilhões de toneladas/ano. Os resíduos agroindustriais lignocelulósicos são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar e álcool, etc., sendo sua produção, geralmente, sazonal, uma vez que existe uma alta instabilidade do volume produzido de resíduos devido a produção irregular no ano (RAVINDRAN e JAISWAL, 2015).

Além da sua abundância e fácil disponibilidade, a biomassa lignocelulósica é considerada uma ótima fonte de carboidratos de baixo custo e com grande potencial para a produção de uma gama de produtos de alto valor comercial, incluindo biocombustíveis como o bioetanol e biogás. O fato de 75% de a sua composição conter polissacarídeos contribui para que a biomassa seja usada como matéria-prima na produção de biocombustíveis (SUN e CHENG, 2002). Diversos bioprocessos utilizam a biomassa lignocelulósica como substrato para a produção de moléculas de alto valor agregado, tais como: proteínas microbianas, ácidos orgânicos, etanol, enzimas e metabólitos secundários biologicamente ativos (ALEXANDRINO *et al.*, 2007).

Este tipo de biomassa é constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. A composição e as proporções destes componentes variam de uma espécie de planta para a outra, e também em uma mesma planta a depender da sua idade, da sua fase de crescimento, entre outras condições (KUMAR *et al.*, 2009).

A celulose é o principal componente estrutural da parede celular das plantas, a qual é responsável pela sua resistência mecânica e estabilidade química (IQBAL *et al.*, 2013). A parede celular da planta é composta de microfibrilas que são formados por cadeias de celulose ligadas entre si por ligações de hidrogênio (KULASINSKI *et al.*, 2014). A celulose está presente nas formas cristalinas (região mais organizada) e amorfas (região menos organizada), sua forma cristalina compreende a maior parte da celulose enquanto que uma pequena porcentagem de cadeias de celulose desorganizadas forma a celulose amorfa sendo,

deste modo, mais susceptível a degradação enzimática (BEGUIN e AUBERT, 1994). As regiões amorfas surgem como imperfeições nas microfibrilas da celulose (BRAUN *et al.*, 2008).

A hemicelulose é uma mistura de polissacarídeos, composto quase inteiramente de açúcares tais como glicose, manose, xilose e arabinose e ácidos glucurônico e metil-glucurônico. Logo, a hemicelulose pode ser considerada um polissacarídeo heterogêneo ramificado com cadeias laterais curtas que se ligam firmemente, mas de forma não covalente, com a superfície de cada uma das microfibrilas de celulose dando flexibilidade e estabilidade ao conjunto celulose-hemicelulose (KUHAD *et al.*, 1997; RAMOS, 2003; MCKENDRY, 2002).

Após a celulose, a lignina é a macromolécula mais abundante dentre as biomassas lignocelulósicas (FENGEL e WEGENER, 1989; DUVAL e LAWOKO, 2014; MCKENDRY, 2002). A composição e a organização dos constituintes da lignina variam de uma espécie para outra, dependendo da matriz de celulose-hemicelulose, estando presente na parede celular primária, dando suporte estrutural, impermeabilidade e resistência microbiana contra ataques externos. No processo de hidrólise enzimática dos materiais lignocelulósicos, a lignina atua como uma barreira física para as enzimas que podem ser irreversivelmente capturadas pela lignina e, assim, influenciar na quantidade de enzima necessária para a hidrólise, assim como dificultar a recuperação da enzima após a hidrólise (PÉREZ *et al.*, 2002; LU *et al.*, 2002).

Segundo Vidales *et al.* (2010), quanto maior o teor de celulose e menor o teor de lignina, mais fácil a extração da celulose. Logo quanto menor a relação quantitativa lignina/celulose, maior a facilidade no processo de extração para fins de biocombustíveis, por exemplo, e melhor o potencial lignocelulósico do resíduo.

4 Biorrefinaria

Entende-se por biorrefinaria uma determinada instalação que integra processos de conversão de biomassa em variados produtos

como biocombustíveis, energia, insumos químicos, materiais e alimentos e que tem por objetivo aperfeiçoar os recursos, ou seja, buscar a utilização de tecnologias renováveis, minimizando assim os efluentes e maximizando os lucros e benefícios (EMBRAPA, 2016). O conceito de biorrefinaria assemelha-se a refinaria de petróleo obtendo vários tipos de combustíveis e produtos petrolíferos (DEMIRBAS, 2009).

A sua utilização acontece principalmente por duas formas, a bioquímica e a termoquímica. A primeira se baseia na conversão química ou bioquímica de açúcares obtidos a partir de hidrólise química ou enzimática; enquanto que a segunda por intermédio da conversão termoquímica da matéria em altas temperaturas, gaseificação (presença de O₂) para a obtenção de syngas (synthetic natural gas) ou pirólise (ausência de O₂) para a produção de bio-óleo (ZHANG *et al.*, 2007).

De acordo com European Technology Platform for Sustainable Chemistry, as previsões indicam que por volta de 2025, cerca de 30% das matérias-primas para a indústria química serão produzidas a partir de fontes renováveis. No Brasil, a biorrefinaria experimentou um desenvolvimento progressivo nos últimos 15 anos (MARTIN, 2011).

Desta forma, as possibilidades advindas do desenvolvimento das biorrefinarias apontam para o enorme potencial econômico dessas instalações no Brasil, para o aproveitamento eficiente da biomassa e dos resíduos agrícolas e agroindustriais (palhas, bagaço, serragens, etc) (EMBRAPA, 2016).

5 Potenciais Resíduos da Região Nordeste

A região nordeste, como bom representante do Brasil, apresenta diversos tipos de cultivos, neste trabalho serão escolhidos alguns para destacar sobre a sua produção, sua geração de resíduos e seu potencial lignocelulósico capaz de gerar produtos com maior valor agregado. Como exemplo, foi usada características dos maiores cultivos encontrados com base no menor estado da federação, o estado de Sergipe, situado na região nordeste e possuidor de uma extensão territorial equivalente a 21.910 km². Seu território está inserido 45% no semiárido Nordestino, assim, e por consequência, vivenciando com

desastres naturais como a seca (NASCIMENTO, 2012), e por isso seus cultivos se sobressaem como bons exemplos perante os demais estados do Nordeste.

A partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015a), foi possível verificar as culturas majoritárias do estado de Sergipe (Tabela 8.1), destacando-se os de cana-de-açúcar, laranja, milho, mandioca e coco-de-baía.

Tabela 8.1 – Quantidade produzida dos principais cultivos do estado de Sergipe 2009-2013.

Lavouras	2009	2010	2011	2012	2013	Média
Cana-de-açúcar (Toneladas)	2.607.155	2.994.819	3.336.034	3.260.251	3.087.048	3.057.061,40
Laranja (Toneladas)	784.382	805.962	822.468	821.940	626.440	772.238,40
Milho (Toneladas)	703.294	750.718	480.476	290.575	700.902	585.193,00
Mandioca (Toneladas)	491.367	485.360	483.990	450.486	433.723	468.985,22
Coco-da-baía (Mil frutos)	279.203	253.621	239.373	242.852	240.855	251.180,80
Banana (Toneladas)	55.935	57.236	47.735	42.142	37.494	48.108,40
Maracujá (Toneladas)	44.486	45.956	45.035	35.977	32.289	40.748,60
Batata-doce (Toneladas)	40.032	37.504	35.522	40.600	44.397	39.611,00
Arroz (Toneladas)	57.166	48.601	18.972	26.661	30.891	36.458,20
Manga (Toneladas)	24.513	24.513	21.793	21.325	19.198	22.268,40

Fonte: IBGE, 2015

6 Cana-de-açúcar

A cana de açúcar é uma gramínea que pertence à família Poaceae, ao gênero *Saccharum* e a classe monocotiledônea; suas principais espécies surgiram na Oceania (Nova Guiné) e na Ásia (Índia e China) sendo introduzida no Brasil na primeira década do século XIV pelos colonizadores portugueses. As variedades cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos multiespecíficos (SILVA, 2011; DIOLA e SANTOS, 2010).

A cana-de-açúcar é constituída de caule, folhas verdes, folhas secas e ponteira. Em relação a sua composição química, embora muito variável, dependendo de condições climáticas da região, do sistema de cultivo, do estágio de maturação, da idade do cultivar, dentre outros fatores, basicamente contém sólidos insolúveis (fibra), sólidos solúveis

(caldo) e água, estes por sua vez, constituídos de compostos orgânicos e inorgânicos (SANTOS, 2013).

Os resíduos gerados pela cana-de-açúcar na unidade industrial são bagaço, torta de filtro (resíduo da filtragem do caldo da cana), vinhaça e cinza, este último proveniente quando da queima do bagaço (INEE, 2015) e com potencial para uso como material de substituição parcial do cimento Portland (PAULA *et al.*, 2009). Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, sem a queima prévia, mantém-se sobre a superfície do solo a palha ou palhada (folha seca, ponteira e pedaço de colmo) (ABRAMO FILHO *et al.*, 1993; TRIVELIN *et al.*, 1995; GÓMEZ *et al.*, 2010). Neste contexto, os resíduos provenientes do cultivo de cana-de-açúcar de maior interesse para obtenção de energia estão relacionados em especial ao bagaço e a palha.

O bagaço é considerado um subproduto e por isso praticamente não tem custo de produção e transporte fazendo com que seja bastante valorizado, permitindo a autossuficiência energética das unidades produtoras e, em algumas, a comercialização da energia excedente (MATSUOKA *et al.*, 2012).

De acordo com Spadotto e Ribeiro (2006), para cada tonelada de cana moída na unidade industrial sucroalcooleira se obtêm em média 120 kg de açúcar e 14 litros de álcool, ou em média 80 litros de álcool nas destilarias. As estimativas de geração de resíduos para uma tonelada de cana esmagada são de aproximadamente 100 a 400 kg de torta de filtro, 800 a 1000 litros de vinhaça e 260 kg de bagaço de cana. Resultado parecido são relatados por Silva *et al.* (2007), considerando para o bagaço valor aproximado de 280 kg por tonelada de cana moída (28% do total), enquanto que para Macedo (1998) para cada tonelada de cana se produz 140 kg de bagaço, 150 kg de açúcar e 140 kg de palha, geralmente deixada no campo.

Assim, foram feitos os cálculos para palha e bagaço da cana-de-açúcar em todos os estados do Nordeste (Tabela 8.2), considerando para cada tonelada de cana a geração de 140 kg de palha e 140 kg de bagaço. Para discussão da composição dos resíduos e viabilidade de seu

uso foram selecionados alguns estudos de diferentes autores, como apresentado na Tabela 8.3.

Tabela 8.2 – Dados de produção e geração de resíduos gerados na colheita da cana-de-açúcar na Região Nordeste (palha ou bagaço), valor baseado na média dos cultivos de 2009 a 2013.

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Quantidade de Resíduos (t)
Cana de açúcar (palha ou bagaço)	Sergipe	3.057.061	427.988,54
	Bahia	6.227.841	871.897,74
	Pernambuco	17.511.592	2.451.622,88
	Paraíba	6.065.166	849.123,24
	Rio Grande do Norte	3.975.675	556.594,50
	Ceará	2.102.257	294.315,98
	Piauí	836.854	117.159,56
	Maranhão	2.926.894	409.765,16
	Alagoas	27.251.796	3.815.251,44

Tabela 8.3 – Potencial lignocelulósico do bagaço e da palha da cana-de-açúcar

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referência
Cana de açúcar	Bagaço	42,8	25,8	22,4	Gouveia <i>et al.</i> , 2009
		43,3	25,7	nd.	Girisuta <i>et al.</i> , 2013
		42,0	25,0	20,0	Kim e Day, 2011
		41,3	22,64	18,26	Jenkins, 1990
		40,19	26,42	25,15	Neureiter <i>et al.</i> , 2002
		41,42	32,65	22,82	Almeida, 2008
Cana de açúcar	Palha	34,4	18,4	40,7	Pitarelo, 2007
		40-44	30-32	22-25	Gomez <i>et al.</i> , 2010
		44,26	31,1	19,01	Santos, 2013
		41,4	26	16,2	Carvalho, 2012

nd. = valores não determinados

Assim, de acordo com os estudos observados na literatura (Tabela 8.3) há diferenças entre teores de celulose no bagaço da cana-de-açúcar analisados em diferentes locais, porém apresentando-se uma relação lignina/celulose média e correspondente a 0,5, com

conhecimento que quanto maior o teor de celulose e menor o teor de lignina mais fácil a extração da celulose, facilitando o processo de extração ou tratamento do resíduo, o bagaço com esta proporção pode ser considerado um resíduo promissor para produção de bioenergia e com valor agregado.

Para o resíduo da palha da cana-de-açúcar (Tabela 8.3), a maioria dos autores encontrou uma quantidade de celulose entre 40 e 44%, apenas Pitarelo (2007) encontrou um valor inferior (34,4%). Para a quantidade de hemicelulose, Almeida (2008) relatou um valor de 32,65%, valor próximo ao encontrado por Gomez *et al.* (2010) que concluíram que esse teor está em torno de 30 a 32% e também Santos (2013) que apresentou um valor de 31,1%. Para o teor da lignina, a palha da cana-de-açúcar de Pitarelo (2007) apresentou um valor bem superior aos demais e Carvalho (2012) um valor bem abaixo (16,2%). Entretanto, em geral a relação lignina/celulose também se apresentou na média próximo a uma relação de 0,5, e assim justificando tanto a palha como o bagaço como promissores ao desenvolvimento de energias sustentáveis.

Laranja

A laranja é nativa da Ásia, embora haja controvérsias acredita-se que o local de sua origem seja uma fruta chinesa, comprovada por seu nome científico (*CITRUS sinensis*) (CITRUS, 2016). A laranja constitui a mais importante classe de citrinos comerciais cultivadas no mundo, sendo muito popular e rica em compostos nutricionais e bioativos (carotenóides e flavonoides), é também abundante em vitamina C, minerais, fibras e aminoácidos (NIU *et al.*, 2008).

A introdução da laranja no Brasil ocorreu por volta de 1530, no período da colonização portuguesa; sua importância naquela época se devia à presença de vitamina C, antídoto do escorbuto que dizimava as tripulações naquele período. No início do século XX, após um período de modernização e importação de tecnologias na citricultura, a laranja passou a ser exportada e em 1939 tornou-se um dos dez produtos mais relevantes na exportação do Brasil (TEIXEIRA, 2009).

Segundo estimativas de Neves *et al.* (2015), o Brasil é o maior produtor mundial de laranja e aproximadamente 70% da sua produção destina-se para o processamento industrial, com 29,8% para consumo da fruta *in natura* e 0,2% para exportação da fruta *in natura*. O Brasil também pode ser considerado o maior produtor de suco de laranja, sendo responsável por aproximadamente 50% da produção mundial, exportando 98% do que produz e, com isso, obtendo 85% de participação no mercado mundial. Em 2014 a produção de laranja foi de 16.927.637 toneladas com uma área colhida de 680.268 hectares (IBGE, 2015). A área da citricultura da Bahia e de Sergipe quase dobrou desde o início da década de 1990, alterando-se de 7% para valores próximos a 13% da área nacional (NEVES *et al.*, 2015).

No processamento da laranja para obtenção de seu suco tem-se como subproduto o bagaço da laranja ou polpa de laranja que compreende aproximadamente 50% do total da fruta. O bagaço é obtido após a extração do suco da fruta e após duas prensagens, que restringe a umidade em torno de 65 a 75% (TEIXEIRA, 2001).

Com base na matéria seca, o valor nutricional do bagaço de laranja é alto, porém com rápida e elevada deterioração (ASHBELL e WEINBERG, 1988), isso acontece devido aos altos níveis de umidade e de carboidratos fermentescíveis, associadas às altas temperaturas e a um prolongado tempo de armazenamento que levam a degradação aeróbia do material pelo crescimento de microrganismos (SOUZA, 2006). Entretanto, as empresas têm utilizado hidróxido ou óxido de cálcio para facilitar o desprendimento da água, facilitando assim a sua conservação (PINTO, 2007).

O bagaço produzido em diferentes locais pode variar consideravelmente quanto à composição química e valor nutritivo (BRANCO *et al.*, 1994). As diferenças nos processos de desidratação, fontes e variedades das frutas, e o tipo de operação pelo qual o resíduo da fruta é obtido, podem resultar em variações no conteúdo de nutrientes do subproduto final (AMMERMAN e HENRY, 1993). A moagem de 12 toneladas de laranja, envolve aproximadamente a produção de 1,2 toneladas de resíduo industrial formado de casca, polpa e semente (CARVALHO, 1992). Esses resíduos apresentam valor

energético agregado, e contribuem para diminuir a dependência da energia comprada para geração de calor, vapor e eletricidade. Antes de serem utilizados na geração de energia térmica, os resíduos sólidos da laranja podem ser convertidos a carvão vegetal e aos subprodutos da carbonização, o que facilitaria seu transporte, armazenamento e manuseio (TIENNE *et al.*, 2004). Apesar de todas essas possibilidades, os resíduos das indústrias de suco de laranja permanecem em sua maior parte inutilizados (ALEXANDRINO *et al.*, 2007).

Na Tabela 8.4 são apresentados a quantidade de resíduos gerados quando a laranja é processada, com base na produção de laranja nos estados do nordeste brasileiro, baseados em dados da literatura onde, segundo Alexandrino *et al.* (2007), em média, 96% da produção de laranja é transformada em suco, isto considerando-se a geração de resíduos a partir da quantidade processada na agroindústria do suco visto que o restante é comercializada na forma de fruto e, deste modo, com geração de resíduos classificados como domésticos; bem como no relato de Teixeira (2011) onde o volume de resíduo produzido equivale a 50% do peso da fruta.

Tabela 8.4 – Dados de cultivo e quantidade de resíduos gerados no processamento da laranja na Região Nordeste, valor baseado na média dos cultivos de 2009 a 2013

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Produção Industrializada (t)	Quantidade de Resíduos (t)
	Sergipe	772.238	741.348,48	370.674,24
	Bahia	991.440	951.782,40	475.891,20
	Pernambuco	3.221,40	3.092,54	1.546,27
	Paraíba	5.874,80	5.639,81	2.819,90
Laranja	Rio G. do Norte	2.507,60	2.407,30	1.203,65
	Ceará	15.089	14.485,44	7.242,72
	Piauí	3.872,40	3.717,50	1.858,75
	Maranhão	7.121	6.836,16	3.418,08
	Alagoas	42.615	40.910,40	20.455,20

Quanto ao potencial lignocelulósico para os resíduos da laranja (Tabela 8.5), Petruccioli *et al.* (2011) relatam que na casca da laranja

obtêm-se 7,5% de lignina e 37,1% de celulose apresentando uma relação quantitativa igual a 0,2, o que representa um valor baixo possibilitando a extração da lignina e assim facilitando a produção de recursos energéticos de forma mais favorável. Também foram encontrados valores para o bagaço da laranja, Mamaa *et al.* (2008) relatam 16% de celulose, 14% de hemicelulose e 1% de lignina, e assim com baixo valor de relação lignina/celulose (inferior a 0,1) representando elevado potencial lignocelulósico do bagaço para conversão em recursos energéticos.

Tabela 8.5 – Potencial lignocelulósico dos resíduos da laranja (bagaço, casca)

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Laranja	Casca	37,1	nd.	7,5	Petruccioli <i>et al.</i> , 2011
	Bagaço	16	14	1	Mamaa <i>et al.</i> , 2008

nd. = valores não determinados

7 Milho

O milho é uma espécie da família das gramíneas, originada do México e da Guatemala. A sua mais antiga espécie foi encontrada no México, no Vale de Tehucan datada de 7.000 anos antes de Cristo. O Teosinte ou “alimento dos deuses”, como era chamado pelos Maias, deu origem ao milho por meio de um processo de seleção artificial feita pelo homem. O Teosinte (gramínea com várias espigas sem sabugo) ainda pode ser encontrada na América Central (CIB, 2016).

Na atualidade, o Brasil é considerado o terceiro maior produtor de milho (Neves *et al.*, 2015), totalizando 79,88 milhões de toneladas no ano de 2014 (IBGE, 2015). O principal destino são as indústrias de rações para animais, sendo que uma pequena parte utilizada para consumo humano (MAPA, 2016). A produção de milho no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra ou safra de verão e segunda safra ou safrinha. A primeira safra é realizada em todos os estados, durante o período chuvoso, que no Nordeste ocorre no início do ano. A Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) classifica como segunda safra a safrinha propriamente dita e a safra de inverno

plantada em Rondônia, Tocantins e em determinadas regiões da Bahia (EMBRAPA, 2012).

A planta de milho é considerada uma das plantas mais eficientes na conversão de energia, conseqüentemente na produção de biomassa, dado a uma única semente de 260 mg produzir em torno de 0,8 a 1,2 kg de biomassa em um período de 140 dias (ANDRADE, 1995). Os resíduos provenientes da cultura do milho (*Zea mays*) podem ser divididos em sabugo, folha, colmo (caule) e palha (cobertura da espiga). Na colheita do milho, geralmente as folhas e os colmos, que são conhecidos como palhada são deixados no solo para a ciclagem de nutrientes (VALE *et al.*, 2013). O sabugo e a palha da espiga são resíduos que podem ser gerados no processamento industrial, e nesse caso, com melhores possibilidades de serem utilizados para a geração de energia (VALE *et al.*, 2013). A palhada também pode ser uma alternativa para a geração de energia, mas para a comprovação desse fato deve ser feito um aprofundamento em relação as suas características.

Conforme a Associação Brasileira de Indústrias da Biomassa (ABIB, 2011), o cultivo do milho possui um fator residual de 1,42% do peso da planta, embora Koopmans e Koppejan (1997) indiquem que a geração de resíduo na cultura do milho é da ordem de 2,3 toneladas em relação a toneladas de grãos colhidos, com 15% de teor de umidade. Dentre os resíduos de milho, o caule soma mais de 40% do total, seguido de 30% de folha e em torno de 13% de sabugo e palha; portanto, na cultura do milho, o caule e a folha têm destaque na produção de resíduo, com 7,85 toneladas por hectare. O caule produz 42% do total de matéria seca de resíduo da cultura do milho, sendo cerca de três vezes mais do que a produção do sabugo (VALE *et al.*, 2013).

Os dados dos resíduos de milho (palha, caule, folha e sabugo) que são produzidos no processamento do milho na região nordeste estão apresentados na Tabela 8.6. O potencial lignocelulósico do caule, palha e bagaço de milho perante a concepção de alguns autores é apresentado na Tabela 8.7. Dada a variação das composições apresentadas, para o caule a relação lignina/celulose pode ser encontrada entre diferentes valores, variando de valores inferiores a 0,3 a valores superiores a 1,0,

porém com possibilidades ao desenvolvimento de bioprodutos eficientes a depender da relação apresentada.

Tabela 8.6 – Dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento do milho na Região Nordeste (palha, caule, folha e sabugo), valor médio de cultivos de 2009 a 2013

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Produção Industrializada (t)	Quantidade de Resíduos (t)
Milho (em grão)	Sergipe	585.193	555.933	789.424,86
	Bahia	2.085.098	1.980.843	2.812.797,06
	Pernambuco	86.556	82.228	116.763,76
	Paraíba	41.835	39.743	56.435,06
	Rio G. do Norte	22.548	21.421	30.417,82
	Ceará	372.889	354.245	503.027,9
	Piauí	554.163	526.455	747.566,1
	Maranhão	762.283	724.169	1.028.319,98
Alagoas	21.931	20.834	29.584,28	

Tabela 8.7 – Potencial lignocelulósico do caule, da palha e do sabugo do milho

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Milho	Caule	38,5	28	15	Sun e Tomkinson, 2000
		42,7	23,6	17,5	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
		37,99	32,06	11,95	He <i>et al.</i> , 2006
		35	25	35	Gomez <i>et al.</i> , 2010
		63	nd.	17	Gani e Naruse, 2006
	Palha	35,6	22,1	12,3	Hayn <i>et al.</i> , 1993
		41,18	nd.	14,14	Salazar <i>et al.</i> , 2005
		38	26	19	Zhu <i>et al.</i> , 2005
		45	35	15	Castro, 2009
		40,26	nd.	7,68	Aguiar <i>et al.</i> , 2009
	Sabugo	30,2	31,7	nd.	Zhang <i>et al.</i> , 2013
		31,7	34,7	20,3	Cruz <i>et al.</i> , 2000
		40,3	28,7	16,6	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
		45	35	15	Prasad <i>et al.</i> , 2007
		43,2	31,8	14,6	Sun e Tomkinson, 2000

nd. = valores não determinados

Em relação a palha do milho (Tabela 8.7), entre os trabalhos utilizados, em geral apresentou-se uma relação quantitativa lignina/celulose variando de 0,19 a 0,50, intervalo eficiente para extração e aplicação de suas frações. Para o sabugo do milho, a relação lignina/celulose apresentada por alguns autores na literatura variaram de 0,3 a 0,6, valores capazes de agregar valor a produção de recursos energéticos (Tabela 8.7).

8 Mandioca

Mandioca é um tipo de arbusto que pertence à família botânica Euphorbiaceae, original da América do Sul, mais precisamente do Brasil. Exerceu papel relevante para as populações nativas, mantendo a sua posição de principal fonte de carboidrato do continente (MAPA, 2015b). Caracterizado por possuir desenvolvimento ideal em regiões com altitude entre 600 e 800 metros, temperaturas anuais entre 20°C e 27°C e precipitação entre 1.000 a 1.500 milímetros por ano, com uma insolação média anual de 12 horas, o desenvolvimento das raízes é melhor em solos de textura arenosa e média e solos leves que facilitam a colheita e são livres de encharcamento, vale destacar também que devido ao seu desenvolvimento inicial lento é importante escolher áreas com inclinação menor que 8%. A cultura é bem tolerante às condições de acidez dos solos, mas bastante sensível a alto pH e a solos salinos. Entretanto, a cultura tem uma grande capacidade em se adaptar às mais diferentes condições de cultivo, é pouco exigente em relação à água e fertilidade (MAPA, 2015b).

O Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial de mandioca, participando com 12,7% do total. De acordo com o IBGE, para o ano de 2014 a produção de mandioca no Brasil totalizou 23,2 milhões de toneladas superior 7,6% ao ano anterior. A mandioca é cultivada em todas as regiões do Brasil, assumindo destacada importância na alimentação humana e animal, além de ser utilizada como matéria-prima em inúmeros produtos industriais (PORTAL ATIVIDADE RURAL, 2016).

A partir da cultura da mandioca podem-se obter diversos produtos, os principais são a farinha e a fécula (amido). Os resíduos

gerados na produção de farinha são 18% de cascas, 30% de manipueira e 24% de crueira (aglomerados) e perdas com a evaporação. Segundo ABIB (2011), de um modo geral, 66% do peso da mandioca correspondem a seu resíduo (rama). De acordo com Lim (1986), em torno de 10 a 25 toneladas de caule e folha por hectare são gerados na cultura da mandioca. Os dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento da mandioca na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013, estão apresentados na Tabela 8.8. Quando leva-se em consideração o potencial lignocelulósico da mandioca (Tabela 8.9), o estudo de Vidales *et al.* (2010) exemplifica que o teor de celulose para a casca da mandioca é de 5,4% e um teor de lignina de 4,8% valores relativamente baixos porém com relação lignina/celulose de 0,9. No entanto, com a aplicação de tecnologias de uma biorrefinaria essas perspectivas podem ser melhoradas.

Tabela 8.8 – Dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento da mandioca na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Produção Industrializada (t)	Quantidade de Resíduos (t)
Mandioca (toneladas)	Sergipe	468.985	468.985	309.530,10
	Bahia	2.733.935	2.733.935	1.804.397,10
	Pernambuco	510.849	510.849	337.160,34
	Paraíba	200.801	200.801	132.528,66
	Rio G. Norte	310.099	310.099	204.665,34
	Ceará	582.593	582.593	384.511,38
	Piauí	416.538	416.538	274.915,08
	Maranhão	1.478.437	1.478.437	975.768,42
	Alagoas	292.995	292.995	193.376,70

Tabela 8.9 – Potencial lignocelulósico da casca da mandioca

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Mandioca	Casca	5,4	nd.	4,8	Vidales <i>et al.</i> , 2010

nd. = valores não determinados

9 Coco-de-baía

O coqueiro (*Cocos nucifera* L) é nativo das ilhas do Oceano Pacífico, foi introduzido no Brasil pelo estado da Bahia, por isso a denominação comum de coco-da-baía, disseminando-se pelo litoral nordestino especialmente por ser típico de clima tropical (FOALE e HARRIES, 2009; ARAGÃO *et al.*, 2009).

Atualmente, o coco é um dos frutos mais difundidos no mundo, tanto na forma *in natura* quanto na forma industrializada. Porém a exploração comercial restringe-se a países que possuem condições específicas de cultivo como elevada radiação solar, solos arenosos, umidade e boa precipitação (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2011). No Brasil, aproximadamente 70% da produção advém de pequenos agricultores (SIQUEIRA *et al.*, 2002; ARAGÃO *et al.*, 2009).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2017), houve um aumento de produção mundial nas últimas décadas, bem como no Brasil. No ano de 2014 a produção de coco foi 1.946.073 mil frutos em uma área colhida de 250.554 hectares (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014). A região Nordeste representa 82,28% do total da área plantada de coco e 69,25% da produção nacional, com os estados da Bahia, Sergipe e Ceará correspondendo por mais da metade da produção brasileira (IBGE, 2015). Quando comparado a países da América do Sul, o Brasil se sobressai com 80% de toda a produção (FAO, 2017). No Brasil, a produção se destina basicamente a produção de coco seco *in natura* e/ou na forma de produto industrializado (coco-ralado e leite de coco) com destaque para a produção de água de coco (MARTINS e JÚNIOR, 2014).

Cerca de 85% da produção nacional de coco verde é comercializada como coco seco, sendo que a metade é utilizada para fins culinários e o resto é industrializada, gerando vários produtos (SENHORAS, 2004). De acordo com Sindicato dos Produtores de Coco (SINDCOCO, 2015), o total de coco seco produzido no país é comercializado da seguinte forma: 35% destinam-se à agroindústria, que produz, principalmente, coco ralado e leite de coco, 35% destinam-

se aos mercados Sudeste/Sul para atender às pequenas indústrias, a exemplo de docerias, sorveterias, entre outros, e os demais 30% ao consumo *in natura*. Aliado a isto, para o cálculo do resíduo do coco-da-baía considerou-se ainda que 60% do peso do coco-da-baía correspondem à casca (ABIB, 2011). Assim, na Tabela 8.10 estão apresentados os dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento do coco-da-baía na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013.

Também foi pesquisado o potencial lignocelulósico para os resíduos do coco (Tabela 8.11), de acordo com Raveendran *et al.* (1995) é 36,3% de celulose, 25,1% de hemicelulose e 28,7% de lignina. Comparando com os resultados obtidos por Rambo *et al.* (2015) há uma leve coincidência para o teor de celulose apresentando uma diferença de 10,7%. A relação lignina/celulose para a casca do coco é relativamente alta, obtendo uma relação de 0,79 para Raveendran *et al.* (1995) e 1,1 para Rambo *et al.* (2015). Além disso, também foi possível encontrar o potencial lignocelulósico do pó e da fibra do coco, com relação lignina/celulose de 0,4 e 1,2 respectivamente, como está mostrando na Tabela 8.11.

Tabela 8.10 – Dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento do coco-da-baía na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013

Cultivo	Localidade	Produção Total (mil frutos)	Produção Industrializada (mil frutos)	Quantidade de Resíduos (mil frutos)
	Sergipe	251.181	175.826,70	105.496,02
	Bahia	523.840	366.688	220.012,80
	Pernambuco	113.828	79.679,60	47.807,76
	Paraíba	61.192	42.834,40	25.700,64
Coco-da-baía	Rio G. Norte	60.573	42.401,10	25.440,66
	Ceará	255.571	178.899,70	107.339,82
	Piauí	13.797	9.657,90	5.794,74
	Maranhão	8.257	5.779,90	3.467,94
	Alagoas	52.299	36.609,30	21.965,58

Tabela 8.11 – Potencial lignocelulósico dos resíduos do coco (casca externa, pó e fibra)

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Coco	Casca externa	36,3	25,1	28,7	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
		32,4	17,5	36	Rambo <i>et al.</i> , 2015
	Pó	47,7	25,9	17,8	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
	Fibra do coco	36,43	0,15-0,25	41-45	Gomez <i>et al.</i> , 2010

10 Conclusão

Considerando os resíduos referenciados foi possível perceber que quanto ao potencial lignocelulósico os resíduos da região Nordeste apresentam-se elevado potencial para aplicação industrial, seja na geração de energia de forma direta como combustíveis seja na elaboração de novos produtos ou bioprodutos. A facilidade e viabilidade deste uso torna-se indiretamente relacionado a relação quantitativa lignina/celulose, isso em especial quando na necessidade de extração de ambas as frações ou tratamentos em suas frações. Pode-se assim afirmar que a região Nordeste possui competência e potencial para abrigar uma biorrefinaria que tenha como objetivo a obtenção de produtos como biocombustíveis, energia, insumos químicos, materiais e alimentos, em especial dado a grande geração de resíduos potenciais a aplicação lignocelulósica. Vale ressaltar ainda a importância do entendimento e consideração do custo/benefício em relação a transporte, armazenamento dos resíduos e da quantidade da geração de resíduos que podem atender a demanda necessária e os respectivos cultivos para melhor aplicação em biorrefinarias.

Referências bibliográficas

- ABIB – Associação Brasileira de Indústrias da biomassa. Inventário Residual Brasil, 2011. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/accounts/200968>>. Consultado em 13 de setembro de 2015.
- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. *Álcool & Açúcar*, n.67, p.23-25, 1993.
- AGUIAR, C. M.; RODRIGUES, D. C.; LUCENA, S. L. **Hidrólise enzimática de resíduos lignocelulósicos: Produção de celulases por *Aspergillus niger* e efeitos do pré tratamento.** Toledo, Paraná.

- ALEXANDRINO, A. M.; FARIA, H. G.; SOUZA, C. G. M.; PERALTA, R. M. Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack:Fr). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(2): 364-368, abr.-jun. 2007.
- ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gás-óleo em craqueamento catalítico**. Dissertação de mestrado em Ciências em tecnologia de processos químicos e bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- ALONSO, A.; PÉREZ, P.; MORCUENDE, R.; MARTINEZ-CARRASCO, R. Future CO₂ concentrations, though not warmer temperatures, enhance wheat photosynthesis temperature responses. **Physiologia Plantarum**, v. 132, n. 1, p. 102-112, 2008.
- AMMERMAN, C.B.; HENRY, P.R. Citrus and vegetable products for ruminants animals. **Feeding and Nutrition**. University of Florida, 1993.
- ANDRADE, G. Efeito da forma e do tamanho da semente no desempenho no campo de dois genótipos de milho londrina. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 1, p. 62-65, 1995.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. BIG – Banco de Informações de Geração. Matriz de Energia Elétrica, 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>.
- ARAGÃO, W.M.; RIBEIRO, MELO, M. F. V. Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro Gigante vs híbridos. In: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, J. M. S. (Ed.). **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 232 p. p. 37- 60
- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z. G. Orange peels: The effect of blanching and calcium hydroxide addition on ensiling losses. **Biological Wastes**, v.23, p.73-77, 1988.
- BEGUIN, P.; AUBERT, J. P. The biological degradation of cellulose. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 13, n. 1, p. 25-28, 1994.
- BIOMASSA-BR – Energias Renováveis. O que é a Biomassa - saiba mais sobre Biomassa a energia do presente brasileiro e mundial. Disponível na internet via www url: <http://www.biomassabr.com/bio/biomassabr.asp>
- BRANCO, A. F., ZEOULA, L. M., PRADO, I. N. Valor nutritivo da polpa de citrus in natura para ruminantes. **Revista Unimar**, v.16, (Suplemento 1), p. 37-48, 1994.
- BRAUN, B.; DORGAN, J. R.; CHANDLER, J. P. Cellulosic Nanowhiskers. Theory and Application of Light Scattering from Polydisperse Spheroids in the Rayleigh-Gans-Debye Regime. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 4, p. 1255-1263, 2008.
- CARVALHO, D. M. **Caracterização físico-química e polpação etanol/soda do bagaço e da palha de cana-de-açúcar**. 2012. 150 f. Dissertação (Magister Scientiae) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, 2012.
- CARVALHO, F.C. Disponibilidade de resíduos agroindustriais e do beneficiamento de produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 1992, São Carlos, SP. **Anais**. São Carlos, SP: Embrapa/UEPAE, 1992, p. 7-28.
- CASTRO, H. F. Processos Químicos Industriais II, Apostila 4, **Papel e celulose**. Universidade Federal de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena (EEL), 2009.
- CIB – Conselho de Informações sobre Biotecnologia. Milho, tecnologia do campo à mesa. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf>. Consultado em Janeiro de 2016.
- CITRUS - Associação Nacional dos Exportadores dos Sucos Cítricos. História da laranja. Disponível em: <<http://www.citrusbr.com/noticias/?id=249287>>. Consultado em 10 de Janeiro de 2016.
- COUTINHO, P. L. A.; BOMTEMPO, J. V. Uso de roadmaps tecnológicos para favorecer o ambiente de inovação em matérias primas renováveis. **Anais... SIMPOI**, 2010

- CRUZ, J. M.; DOMÍNGUEZ, J. M.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. Preparation of fermentation media from agricultural wastes and their bioconversion to xylitol. **Food biotechnology**, v.14, p.79-97, 2000.
- DEMIRBAS, M. F. Biorefineries for biofuel upgrading: a critical review. **Applied Energy**, v. 86, (Supplementary 1), p. 151-161, 2009.
- DIOLA, V.; SANTOS, F.A. Fisiologia. In: SANTOS, F., BORÉM, A., CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Alcool – Tecnologias e Perspectivas**. Viçosa – UFV. p. 487-517, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>.
- DUVAL, A.; LAWOKO, M. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano structured materials. **Reactive and Functional Polymers**, v. 85, p. 78-96, 2014.
- ELLIOTT, S. R.; Sustainability: an economic perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 44, p. 263-277, 2005.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Biorrefinarias. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48750/1/biorrefinaria-modificado-web.pdf>. Consultado em 22 de Janeiro de 2016.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Milho e Sorgo. Cultura do Milho, Apresentação. Sistema de Produção, 1, 8ª edição, outubro 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/index.htm>.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Production. Disponível em: <www.fao.org>. Consultado em 08 de Novembro de 2017.
- FENGEL, D.; WEGENER, G.; **Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions**, Walter de Gruyter: Berlin, 1989.
- FOALE, M.; HARRIES, H. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Coconut (*Cocos nucifera*). In: ELEVITCH, C. R. (Ed.). **Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry**, Holualoa, Hawaii: Permanent Agriculture Resources (PAR), 2009. Disponível em: <<http://agroforestry.net/scps>>. Acesso em Setembro de 2015.
- GALBE, M.; ZACCHI, G. Pretreatment of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 108, p. 41-65, 2007.
- GANI, A. NARUSE, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**, v. 32, p. 649-661, 2007.
- GIRISUTA, B.; DUSSAN, K.; HAVERTY, D.; LEAHY, J. J.; HAYES, M. H. B.; A kinetic study of acid catalyzed hydrolysis of sugar cane bagasse to levulinic acid. **Chemical Engineering Journal**, v. 217, p. 61-70, 2013.
- GOH, C. S.; TAN, K. T.; LEE, K. T.; BHATIA, S. Bio-ethanol from lignocellulose: status, perspectives and challenges in Malaysia. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4834-4841, 2010.
- GÓMEZ, E.O.; SOUZA, R.T.G.; ROCHA, G.J.M.; ALMEIDA, E.; CORTEZ, L.A.B. A palha de cana-de-açúcar como matéria-prima para processos de segunda geração. In: CORTEZ (Ed.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: PeD para produtividade sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, p. 637-659, 2010.
- GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M.; ROCHA, G. J. M.; Validação de metodologia para a caracterização química do bagaço da cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.
- HAYN, M.; STEINER, W.; KLINGER, R.; STEINMULLER, H.; SINNER, M.; ESTERBAUER, H. Basic research and pilot studies on the enzymatic conversion of lignocellulosics. In: **Bioconversion of Forest and Agricultural Plant Residues**, ed. J.N. Saddler, CAB International, Wallingford, pp. 33-72 (1993).
- HE, F.; YI, W.; BAI, X. Investigation on caloric requirement of biomass pyrolysis using TG–DSC analyzer. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 2461–2469, 2006.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Agricultura, Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>. Consultado em 21 de Agosto de 2015a.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=se>>. Consultado em 20 de Novembro de 2015b.
- INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Dados de eficiência energética. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://www.inee.org.br/>>.
- IQBAL, Q. J. **Microbiological Conversion of Waste Fruits and Vegetables into Ethanol**, Department of Zoology, University of Punjab, Pakistan Research Repository, 2005.
- IRSHAD, M.; ANWAR, Z.; BUT, H. I.; AFROZ, A.; IKRAM, N.; RASHID, U. The industrial applicability of purified cellulose complex indigenously produced by *Trichoderma viride* through solid-state bio-processing of agro-industrial and municipal paper wastes. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 145-157, 2013.
- ISROI, M. R.; SYAMSIAH, S.; NIKLASSON, C.; CAHYANTO, M. N.; LUNDQUIST, K.; TAHERZADEH, M. J. Biological pretreatment of lignocelluloses with white-rot fungi and its applications: a review. **BioResources**, v. 6, n. 4, p. 5224-5259, 2011.
- JENKINS, B. M. Fuel properties for biomass materials. In: International Symposium on application and management of energy in agriculture: **The Role of Biomass Fuels**. May, Delhi, India, p. 21-23. 1990.
- KIM, M.; DAY, D. F.; Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 803-807, 2011.
- KOOPMANS, A.; KOPPEJAN, J. Agricultural and forest residues-generation, utilization and availability. In: Regional consultation on modern applications of biomassa energy, Regional
- KUHAD, R. C.; SINGH, A.; ERIKSSON, K. E. Microorganisms and enzymes involved in degradation of plant fiber cell walls. **Advances Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 57, p.45-125, 1997
- KULASINSKI, K.; KETEN, S.; CHURAKOV, S. V.; DEROME, D.; CARMELIET, J. A comparative molecular dynamics study of crystalline, paracrystalline and amorphous states of cellulose. **Cellulose**, v. 21, n. 3, p. 1103-1116, 2014
- KUMAR, P.; BARRETT, D. M.; DELWICHE, M. J.; STROEVE, P. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 48, n. 8, p. 3713-3729, 2009.
- LIM, K.O. The energy potential and current utilization of agriculture and logging wastes in Malaysia. **Renewable Energy Review Journal**, v. 8, n. 2, December 1986, RERIC-AIT, Bangkok.
- LU, Y.; YANG, B.; GREGG, D.; SADDLER, J. N.; MANSFIELD, S. D. Cellulase adsorption and an evaluation of enzyme recycle during hydrolysis of steam exploded softwood residues. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 98, n. 1, p. 641-654, 2002.
- MACEDO, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bioethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**, v.14, n.1, p. 77-81, 1998.
- MAMAA, D.; KOURTOGLOUA, E.; CHRISTAKOPOULOS, P. Fungal multienzyme production on industrial by-products of the citrus-processing industry. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2373-2383, 2008.
- MAPA - Ministério da Agricultura da Pecuária e do Abastecimento. Ministério da Agricultura, Milho. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>.
- MARTIN, C. Biorrefinaria Industrial. **Revista O Papel** – março, 2011.
- MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L.A. Brasil. Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio; Secretaria de Comércio Exterior. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010. Aracaju – Embrapa: Tabuleiros Costeiros. Documentos 164, 2011. 28p. Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf>.

- ARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L.A. Brasil. Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio; Secretaria de Comércio Exterior. Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014. Aracaju – Embrapa: Tabuleiros Costeiros. Documentos 184, 2014. 53p. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1014433/producao-e-comercializacao-de-coco-no-brasil-frente-ao-comercio-internacional--panorama-2014>.>
- MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia da cana. In: SANTOS, F. A.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.). **Cana-de-Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol – Tecnologias e Perspectivas**. 2. ed. Viçosa, MG, 2012. p. 547-577.
- MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 37-46, 2002.
- MICHELIN, M. POLIZELI, M. L. T. M.; SILVA, D. P.; RUZENE, D. S.; VICENTE, A. A.; JORGE, J. A.; TERENCE, H. F.; TEIXEIRA, J. A. Production of xylanolytic enzymes by *Aspergillus terricola* in stirred tank and airlift tower loop bioreactors. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 12, p. 1979-1984, 2011.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Clima, Energia, Energias Renováveis, Biomassa, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energiasrenovaveis/biomassa>>. Acesso em Agosto de 2015. Consultado em 17 de Setembro de 2015
- NASCIMENTO, S. S. A Geopolítica da Agricultura Sergipana, 2012. Disponível em <<http://ww.infonet.com.br/economia/ler.asp?id=150866>>. Consultado em janeiro de 2016.
- NEUREITER, M.; DANNER, H.; THOMASSER, C.; SAIDI, B.; BRAUN, R. Dilute-acid hydrolysis of sugarcane bagasse at varying conditions. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 98-100, p. 49-58, 2002.
- NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P.; LOPES, F. F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. Associação Nacional dos Exportadores dos Sucos Cítricos – CITRUS. O Retrato da Citricultura Brasileira. Consultado em 16 de Dezembro de 2015.
- NIU, L.Y.; WU, J.H.; LIAO, X.J.; CHEN, F.; WANG, Z.F.; ZHAO, G.H.; HU, X. Physicochemical characteristics of orange juice samples from seven cultivars. **Agricultural Sciences in China**, v. 7, n. 1, p. 41-47, 2008.
- PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L.; Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr/jun. 2011
- PAULA, M.O.; TINÓCO, I.F.F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland. Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.
- PÉREZ, J.; MUNÓZ-DORADO, J.; De la Rubia, T.; MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. **International Microbiology**, v. 5, p. 53-63, 2002.
- PETRUCCIOLI M.; RAVIV M.; DI SILVESTRO R.; DINELLI G. Agriculture and agro-Industrial wastes, byproducts, and wastewaters: origin, characteristics, and potential in bio-based-compounds production. In: **Environmental Biotechnology and Safety**, AMSTERDAM, ELSEVIER, 2011, pp. 531 – 545.
- PINTO, A. P.; MIZUBUTI, I. Y.; RIBEIRO, E. L. A.; FEY, R.; PALUMBO, G. R.; ALVES, T. C. Avaliação da silagem de bagaço de laranja e silagem de milho em diferentes períodos de armazenamento. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.29, n.4, p.371-377, 2007.
- PITARELO, A.P. **Avaliação da susceptibilidade do bagaço e da palha de cana-de-açúcar à bioconversão via pré-tratamento a vapor e hidrólise enzimática**. 2007. Dissertação (Mestrado em Química, sub-área de Química Orgânica) Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2007.

- PORTAL ATIVIDADE RURAL. Cultura da Mandioca. Sistemas de Produção – Embrapa. Disponível na internet via [www url: http://atividadarural.com.br/artigos/5602ee3b2a182.pdf](http://atividadarural.com.br/artigos/5602ee3b2a182.pdf). Arquivo capturado em 10 de Janeiro de 2016.
- PRASSAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H. C.; Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, p. 1-39, 2007.
- RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, v. 144, p. 696-703, 2015.
- RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, v. 26, p. 863-871, 2003.
- RAVEENDRAN, K.; GANESH, A.; KHILAR, K. C. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. **Fuel** 1995, v. 74, n. 12, 1995.
- RAVINDRAN, R. JAISWAL, A.K. A Comprehensive Review on Pre-treatment Strategy for Lignocellulosic Food Industry Waste: Challenges and Opportunities. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 92-102, 2015.
- RIVAS, B.; TORRADO, A.; TORRES, P.; CONVERTI, A.; DOMINGUÉX, J. M. Submerged Citric Acid Fermentation on Orange Peel Autohydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, 2008.
- SALAZAR, R. F. S.; SILVA, G. L. P.; SILVA, M. L. C. P. **Estudo da composição da palha de milho para posterior utilização como suporte na preparação de compostos**. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Lorena, São Paulo, Julho 2005.
- SANTOS, F. A. **Avaliação do Pré-tratamento hidrotérmico de palhas de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2013. Dissertação (Doctor Scientiae) Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Manual de Referência para as Casas de Farinha**, Alagoas, 2006.
- SENHORAS, E. M. Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, Maringá, n.5, 2004.
- SILVA, G. M. **Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com amônia aquosa para a produção de etanol**. 2011. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- SILVA, V.L.M.M.; GOMES, W.C.; ALSINA, O.L.S.; Utilização do bagaço da cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.
- SINDCOCO – Sindicato Nacional dos Produtores de Coco do Brasil. Disponível em: <<http://www.sindicoco.com.br/index.php#&slider21=1>>. Consultado em 18 de setembro de 2015.
- SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. A introdução do coqueiro no Brasil: importância histórica e agrônômica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. (Documentos, 47), 2002. 24 p. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/download/Documentos47.doc>>. Consultado em 10 de Janeiro de 2016.
- SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. São Paulo: FEFAP, 2006.
- SUMMOOGUM-UTCHANAH, S.L.; SWAMI, J. Investigating the extraction of alcohol from agricultural wastes in Mauritius. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, p. 2255–2262, 2015.
- SUN, R. C.; TOMKINSON, J. Essential guides for isolation/purification of polysaccharides, ed. chap. In: WOILSON, I., ADLARD, T., POOLE, C., COOK, M. (eds). **Encyclopedia of separation sciences**. London: Academic Press, 2000. P. 4568-74.
- SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.

- SOUZA, D.A. (2006) Utilizando a polpa cítrica úmida. Cadeia Produtiva - Dicas de Sucesso. Disponível na internet via [www url: www.farmpoint.com.br](http://www.farmpoint.com.br). Arquivo capturado em 29 de Setembro de 2015.
- TAVARES, V. B.; SIVIÉRI, K.; CERON, C. R.; SILVA, R.; TRABUCO, E. Utilização de resíduo líquido de indústria de processamento de suco de laranja como meio de cultura de *Penicillium citrinum*: depuração biológica do resíduo e produção de enzima. **Revista Química Nova**, v. 21, p. 722-725, 1998.
- TEIXEIRA, A. M.; GONÇALVES, L. C.; VELASCO, F.O. RIBEIRO JÚNIOR, G. O.; MAGALHÃES, F. A. Polpa cítrica na alimentação de bovinos de leite. In: GONÇALVES, L.C., BORGES, I., FERREIRA, P.D.S. (eds) **Alimentos para gado de leite**, Cap.7, Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009.
- TEIXEIRA, J. C. Utilização da polpa cítrica na alimentação de bovinos leiteiros. Parte I. **Milkbizz Technology**, v. 1, n. 3, p.25-28, 2001
- TIENNE, L.; DESCHAMPS, M. C.; ANDRADE, A. M. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço de laranja (*Citrus sinensis*). **Revista Biomassa e Energia**, v. 1, p. 191-197, 2004.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIQUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.
- USDA - United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>>. Consultado em 14 de Dezembro de 2015.
- VALE, A.T.; DANTAS, V.F.S.; ZAMBRZYCKI, G.C. Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays*). **Evidência**, Joaçaba v. 13 n. 2, p. 153-164, jul./dez. 2013
- VIDALES, L. T. CUNHA E PAULA, S. R. SEBEN, L. L. DE PAULA, I. C. FILHO, U. C. **Identificação de resíduos vegetais com potencial para obtenção de celulose: Estudo no Rio Grande do Sul e em Minas Gerais**. In: XVIII Simpósio de Engenharia de Produção. Gestão de Projetos e Engenharia da Produção, Bauru, São Paulo, Novembro 2010.
- ZHANG, L.; YU, H.; WANG, P.; DONG, H.; PENG, X. Conversion of xylan, D-xylose and lignocellulosic biomass into furfural using AlCl₃ as catalyst in ionic liquid. **Bioresour Technology**, v. 130, p. 110-116, 2013.
- ZHANG, Q.; CHANG, J.; WANG, T.; XU, Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. **Energy Conversion and Management**, Philadelphia, v. 48, n. 1, p. 87-92, Jan. 2007.
- ZHANG, Y. H. P.; LYND, L. R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 88, n. 7, p. 797-824, 2004.
- ZHU, Y.; LEE, Y. Y. ELANDER, R. T. Optimization of dilute-acid pretreatment of corn stover using a high-solids percolation reactor. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 124, p. 1045-1054, 2005.