



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FERNANDA APARECIDA SALES

**BIOMASSA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA PARA
PRODUÇÃO DE BIOENERGIA**

Londrina
2014

FERNANDA APARECIDA SALES

**BIOMASSA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA PARA
PRODUÇÃO DE BIOENERGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Caramori

Coorientador: Pesq. Dr. Wilian da Silva Ricce

Londrina
2014

FERNANDA APARECIDA SALES

**BIOMASSA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA PARA PRODUÇÃO
DE BIOENERGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Bioenergia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Henrique Caramori
Prof. Orientador
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Dionísio Borsato
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Marco Aurélio Teixeira Costa
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete
(Suplente)
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Mateus Carvalho Basilio de Azevedo
(Suplente)
Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR

Londrina, 27 de março de 2014.

Dedico este trabalho primeiramente a
Deus e à minha Família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nesse mestrado, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço aos meus pais e meu irmão, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Henrique Caramori não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade, carinho, atenção e pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Meus agradecimentos a todos os meus amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Agradeço ao meu coorientador Wilian da Silva Ricce pela sua ajuda, orientação e amizade.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná e seus funcionários, por possibilitarem a realização deste trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina, pela formação.

À Capes pelo apoio financeiro.

Muito Obrigada.

*“A persistência é o menor caminho do êxito.”
Charles Chaplin.*

SALES, Fernanda Aparecida. **Biomassa de capim elefante e *Leucena* para produção de bioenergia**. 2014. 62folhas. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram avaliar a produção de biomassa de capim elefante e leucena no estado do Paraná visando à geração de energia. Foi conduzido um experimento de campo na fazenda experimental do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR em Ibiporã, PR. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. Na parcela principal foi avaliada a produção total de biomassa de capim elefante e leucena. Nas subparcelas foram avaliadas as épocas de corte: corte fixo a cada 60 dias e corte fixo a cada 120 dias de cultivo. Foram obtidos os seguintes resultados: análise química imediata, poder calorífico inferior, potencial de produção de energia proveniente da queima da biomassa e estimativa da produção potencial de biomassa e energia provenientes do capim elefante no Paraná obtida por meio de um modelo agrometeorológico. Os resultados obtidos evidenciaram que o capim elefante e a leucena possuem características que possibilitam a sua utilização como fonte alternativa de energia, devido ao seu poder calorífico. No entanto a leucena, por possuir crescimento inicial lento, requer estudos por um período mais prolongado a fim de se determinar o seu potencial. As análises de simulação de potencialidade de geração de energia, em função da matéria seca produzida anualmente, mostraram que o capim elefante pode se constituir uma importante fonte de energia renovável no estado do Paraná.

Palavras-chave: Energia renovável. Poder Calorífico. Produtividade Potencial. *Leucaena leucocephala*. *Pennisetum purpureum*.

SALES, Fernanda Aparecida. **Biomass of elephant grass and *Leucaena* for bioenergy production**. 2014. 62folhas. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate the biomass production of elephant grass and leucaena in the state of Paraná (PR), Brazil, aiming at generating renewable energy. A field experiment was conducted at the experimental farm of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in the municipality of Ibiporã, PR. The experimental design was randomized blocks with split plots. In the main plot was evaluated total biomass production of elephant grass and leucaena. In the subplot two cutting times were evaluated: fixed cut at 60 days and at 120 days of cultivation. The following results were obtained: immediate chemical analysis, lower calorific power, potential production of energy from biomass burning and estimative of biomass and energy production from the elephant grass in the state of Paraná based on an agrometeorological model. The results showed that the elephant grass and leucaena have characteristics that allow their use as alternative energy sources due to their high calorific value. However the leucaena, by having slow initial growth, requires studies for a longer period in order to determine its potential. Analysis of simulation capability of energy generation, as a function of dry matter produced annually, showed that elephant grass may constitute an important source of renewable energy in the state of Paraná.

Key words: Renewable energy. Calorific power, dry matter. Potential productivity. *Leucaena leucocephala*. *Pennisetum purpureum*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	BIOCOMBUSTÍVEIS	12
2.1.1	Biomassa	12
2.1.1.1	Biomassa e Cogeração de Energia Elétrica no Brasil	13
2.2.1	Capim Elefante e Geração de Energia	15
2.2.2	Capim elefante.....	17
2.2.3	Exigências Climáticas do Capim Elefante	18
2.3	EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA	19
2.3.2	Leucena	20
2.3.3.1	Exigências Climáticas da Leucena	22
2.3.3	Caracterização e Qualidade da Biomassa.....	22
	REFERÊNCIAS	23
3	ARTIGO A: PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA NO NORTE DO PARANÁ	29
3.1	RESUMO.....	29
3.2	ABSTRACT	29
3.3	INTRODUÇÃO	30
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.4.1	Caracterização e Localização da Área de Estudo	31
3.4.2	Produtividade da Biomassa de Capim Elefante e Leucena em Intervalos de Corte de 60 e 120 Dias	33
3.4.3	Análise Bromatológica	33
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.5.1	Rendimentos de Massa Seca de Capim Elefante com Cortes de 60 e 120 Dias de Cultivo.....	34
3.5.2	Porcentagem de Fibra em Detergente Neutro (Fdn) e em Detergente Ácido (FDA), Celulose e Lignina.....	35
3.6	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS.....	37

4	ARTIGO B: POTENCIAL DE ENERGIA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA NO NORTE DO PARANÁ	40
4.1	RESUMO.....	40
4.2	ABSTRACT	40
4.3	INTRODUÇÃO	41
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	42
4.4.1	Preparo das Amostras	43
4.4.2	Análise Imediata	43
4.4.3	Poder Calorífico Inferior	44
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.5.1	Análise Imediata: Umidade, Materiais Voláteis, Cinzas e Carbono Fixo	46
4.5.2	Poder Calorífico	48
4.6	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	51
5	ARTIGO C: PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE MASSA SECA E ENERGIA DE CAPIM ELEFANTE NO ESTADO DO PARANÁ	53
5.1	RESUMO.....	53
5.2	ABSTRACT	53
5.3	INTRODUÇÃO	54
5.4	MATERIAL E MÉTODOS	54
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.6	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	59
6	CONCLUSÕES GERAIS	61

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento no consumo energético mundial tem levado cientistas do mundo todo a pesquisar fontes renováveis de energia. Estudos recentes mostram que as emissões de gases emitidos pela queima de combustíveis fósseis têm contribuído para alterações climáticas em todo planeta. Diversos estudos sobre fontes alternativas de energia têm sido realizados, no intuito de minimizar os impactos causados pela utilização dos combustíveis fósseis.

Na busca por fontes renováveis de energia a biomassa ganha destaque em diversas pesquisas. A produção de material energético alternativo através de biomassa vegetal representa hoje um dos grandes desafios para a pesquisa, já que a continuação da queima desenfreada de petróleo, além de ser finita, contribui para o efeito estufa que ameaça o equilíbrio do clima da terra. Como a queima de biomassa somente recicla CO₂ que foi retirado da atmosfera pela fotossíntese tudo indica que, em longo prazo, esta será uma das alternativas energéticas mais seguras (SCHEMER et al., 2008; COWIE et al., 2007).

Nesse contexto, a cultura do capim elefante tem sido estudada como uma possível fonte de biomassa para utilização na produção de bioenergia.

O capim elefante comumente utilizado na alimentação animal passa a ser visto como alternativa energética renovável. Não mais interessa uma planta rica em proteína para a alimentação animal, e sim uma planta que seja rica em fibras e lignina, de alta relação C:N, aliada a alta produção de biomassa, para que o carvão que se queira produzir deste material seja de boa qualidade (QUESADA et al., 2004). A finalidade é obter alta produtividade de biomassa juntamente com altos teores de fibra, lignina e celulose. Segundo Morais et al. (2009), uma alta produtividade de biomassa aliada a boa quantidade de fibras são características importantes para utilização de uma matéria prima para fins energéticos.

A leucena (*Leucaena leucocephala*), é uma leguminosa arbórea sendo utilizadas de diversas formas em todo o Brasil. É usada especialmente para produção de forragem e adubação verde, é adequada para produção de lenha, carvão, celulose e madeira (FRANCO et al., 1986).

Devido a diversidade de utilização da leucena e as características apresentadas pelo capim elefante optou-se por avaliar essas duas espécies como fonte de biomassa para geração de bioenergia.

Esta dissertação se fundamentou nas seguintes hipóteses:

1.A avaliação da produtividade e composição de capim elefante e leucena em diferentes intervalos de corte possibilita a determinação do potencial produtivo de energia de tais espécies;

2.A utilização do capim elefante e leucena em intervalos diferentes de cortes pode melhorar a produtividade de biomassa e a qualidade do material;

3.As condições climáticas do Paraná possibilitam produzir quantidades de biomassa de capim elefante que viabilizam a sua utilização como fonte alternativa de energia.

Dessa forma, foram realizados estudos com capim elefante e leucena, afim de fornecer informações sobre a produtividade e qualidade destas espécies visando à utilização das mesmas como alternativa de matéria prima para produção de energia. Os estudos resultaram nessa dissertação, que está organizada em três capítulos descritos a seguir:

No primeiro capítulo realizou-se um estudo sobre produtividade de biomassa de capim elefante e leucena, com intervalos de corte de 60 e 120 dias. Neste estudo obteve-se o acúmulo total da biomassa produzida nos diferentes intervalos e a diferença de produção dos mesmos.

No segundo capítulo realizou-se um estudo sobre a potencialidade de energia do capim elefante e leucena e a qualidade energética das duas espécies nos diferentes intervalos de cortes. Neste tudo se obteve o potencial energético das espécies e a qualidade dessas matérias primas para utilização energética.

No terceiro capítulo realizou-se um estudo sobre a produtividade potencial de massa seca e energia de capim elefante no Estado do Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOCOMBUSTÍVEIS

As fontes renováveis têm potencial técnico para atender a grande parte do acréscimo da demanda de energia do mundo, independentemente da sua finalidade (eletricidade, aquecimento ou transporte) (BRASIL,2006).

A produção de biocombustíveis, seja de biomassa sólida, como lenha ou carvão vegetal, ou líquidos, pode ter várias justificativas econômicas, sociais e ambientais. Uma das vantagens ambientais do uso de biocombustíveis é possível mitigação das emissões de gases ou partículas pelos veículos que são diretamente prejudiciais à saúde humana ou ao meio ambiente, como monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre e nitrogênio e a mitigação das emissões dos gases do chamado "efeito estufa", principalmente o dióxido de carbono (CO₂) (URQUIAGA et al.,2005).

O Relatório do Grupo III do Painel Intergovernamental para Mudanças do Clima-IPCC-2007 mostra que o maior aumento das emissões de gases de efeito estufa, entre 1970 e 2004, se deu no setor de oferta de energia. A maior contribuição para esse aumento veio das emissões diretas do setor de transporte, resultante do uso de combustíveis fósseis. Entre as múltiplas opções de mitigação o relatório aponta para o aumento da participação dos biocombustíveis na oferta de energia, como uma medida fundamental no tratamento das emissões e seus efeitos na segurança alimentar e na redução da pobreza.

2.1.1Biomassa

Desde o início da civilização, a biomassa vegetal sempre teve um papel dos mais importantes como fonte de energia e, para a maioria dos povos em desenvolvimento é essencial para a preparação de alimentos. Também é utilizada como fonte de calor e iluminação, ou até mesmo no desenvolvimento industrial movimentando as primeiras máquinas a vapor. Nos dias atuais, muitos desses usos ainda prevalecem, realçando a importância de estudos sobre a biomassa (QUESADA, 2005).

Coelho (1982) define biomassa como o conjunto de materiais orgânicos gerados por organismos autótrofos do reino vegetal (fitomassa), ou acumulados nos seres heterótrofos do reino animal (zoomassa). Os organismos fotossintéticos (autótrofos) são capazes de transformar a energia solar em energia química, mediante a atuação biogeoquímica dos cloroplastos contidos na clorofila das plantas. Essa energia é retida e acumulada nos espaços intermoleculares e é liberada em processos que envolvem oxidação, redução e hidrólise, que podem ser de natureza termoquímica, bioquímica e biológica.

O mundo se encontra diante de uma grave situação para o seu abastecimento sustentável de energia. Poucas soluções foram encontradas para a redução desse problema, principalmente no que se refere ao uso dos combustíveis fósseis. No Brasil é que surge a ideia de uso da biomassa, que por ser renovável constitui a mais promissora fonte alternativa para uma situação de suprimento energético (COUTO et al.,2004).

Dentre as formas de energia renovável, a oriunda da biomassa é uma das mais utilizadas no mundo. Estima-se que seu consumo atual esteja entre 10% e 14%, conforme afirma Rosilho -Calle et al. (2005).Segundo estes autores,o papel da energia da biomassa tem se transformado rapidamente devido a vários aspectos, destacando-se os fatores ambientais,energéticos,climáticos e socioeconômicos.Por essas e outras razões, sua importância cresce significativamente em muitos países industrializados.

2.1.1.1Biomassa e Cogeração de EnergiaElétrica no Brasil

A co-geração é o processo de transformação de determinada forma de energia em mais de uma forma de energia útil (BRASIL, 2006). A conversão energética da biomassa pode ser realizada por meio de diferentes processos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica define cogeração de energia como “o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária”. A energia elétrica convertida é utilizada para movimentar os equipamentos, em alguns casos a planta completa de uma indústria. No Brasil destaca-se a utilização da biomassa da cana de açúcar para a produção do etanol e a cogeração de energia através do bagaço da mesma(ANNEL, 2008).

Embora ainda muito restrito, o uso de biomassa para a geração de eletricidade tem sido objeto de vários estudos e aplicações, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Entre outras razões, estão a busca de fontes mais competitivas de geração e a necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono (ANEEL, 2008).

A biomassa obteve o segundo lugar na oferta de energia elétrica na matriz energética Brasileira, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 Distribuição de fontes de energia elétrica na matriz energética brasileira.

FONTE DE ENERGIA ELETRICA	PORCENTAGEM NA MATRIZ BRASILEIRA
HIDRÁULICA	83,4%
BIOMASSA	3,7%
GÁS NATURAL	3,2%
DERIVADOS DO PETRÓLEO	2,8%
NUCLEAR	2,6%
CARVÃO MINERAL	1,4%
GÁS INDUSTRIAL	0,9%

Fonte: Aneel (2008).

2.2 UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA NO BRASIL

No Brasil a biomassa gera uma diversidade de produtos e consequentemente diversas formas de conversão de energia dessas matérias primas. Grande parte da biomassa é utilizada como lenha através da madeira, mas o Brasil se destaca na utilização da cana de açúcar para produção de etanol e utilização do bagaço na geração de energia elétrica. Segundo a Conab (2013), a produção de etanol no Brasil totalizou 23,64 bilhões de litros na safra 2012/13.

Segundo Nogueira et al. (2005), os produtos oriundos da biomassa são processados através das conversões: física, que resultam em briquetes e pellets e óleo vegetal; biológica, que resulta no etanol e biogás e termoquímicas, que produzem calor, gases e altas temperaturas. O resultado final desses processos é a produção de combustíveis intermediários ou de energia.

Dentro de uma perspectiva de longo prazo, a biomassa para fins energéticos, e como fonte para geração de energia elétrica está entre as fontes renováveis com maiores possibilidades (MME, 2030).

2.2.1 Capim elefante e Geração de Energia

A oferta de matéria-prima por meio da biomassa produzida e utilizada na cogeração de energia é um caso de inovação nesta área. A afirmação é resultado de estudos de centros de pesquisa, como o CENBIO-USP/SP e NIPE-UNICAMP, que figuram entre os mais relevantes do país quanto às pesquisas para geração de energia a partir da biomassa (CARMEIS, 2003).

O Capim elefante produz uma boa quantidade de energia comparado com outras fontes já utilizadas na geração de energia. Essa característica é de fundamental importância para utilização de uma matéria prima para geração de bioenergia. Observa-se na Tabela 3, que o capim elefante possui um potencial de geração de energia equivalente ao bagaço de cana de açúcar que é utilizado nas usinas para gerar vapor para produção de energia elétrica.

Tabela 2 -Usinas do tipo biomassa em operação no Brasil em 2014.

<i>ESTADO</i>	<i>COMBUSTIVEL</i>	<i>CLASSE DO COMBUSTIVEL</i>	<i>QUANTIDADE</i>
<i>São Paulo</i>	Bagaço de cana de açúcar, biogás, licor negro	BIOMASSA	209
<i>Minas Gerais</i>	Bagaço de cana de açúcar, biogás, licor negro, resíduos de madeira	BIOMASSA	48
<i>Paraná</i>	Bagaço de cana de açúcar, biogás, resíduos de madeira	BIOMASSA	39
<i>Goiás</i>	Bagaço de cana de açúcar, resíduos de madeira	BIOMASSA	27
<i>Mato Grosso do Sul</i>	Licor negro; Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	27
<i>Alagoas</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	23
<i>Pernambuco</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	22
<i>Santa Catarina</i>	Bagaço de cana de açúcar, biogás, casca de arroz, resíduos de madeira	BIOMASSA	18
<i>Mato Grosso</i>	Bagaço de cana de açúcar, resíduos de madeira	BIOMASSA	14
<i>Rio Grande do Sul</i>	Casca de arroz, resíduos de madeira	BIOMASSA	10
<i>Pará</i>	Resíduos de madeira	BIOMASSA	7
<i>Bahia</i>	Biogás, Capim elefante, licor negro	BIOMASSA	6
<i>Espirito Santo</i>	Bagaço de cana, licor negro	BIOMASSA	5
<i>Sergipe</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	5
<i>Maranhão</i>	Carvão vegetal; Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	3
<i>Paraíba</i>	Licor negro	BIOMASSA	2
<i>Rio Grande do Norte</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	2
<i>Acre</i>	Resíduos de madeira	BIOMASSA	1
<i>Amapá</i>	Capim elefante	BIOMASSA	1
<i>Amazonas</i>	Resíduos de madeira	BIOMASSA	1
<i>Piauí</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	1
<i>Rio de Janeiro</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	1
<i>Rondônia</i>	Casca de arroz	BIOMASSA	1
<i>Roraima</i>	Resíduos de madeira	BIOMASSA	1
<i>Tocantins</i>	Bagaço de cana de açúcar	BIOMASSA	1

Fonte: ANEEL, 2014.

Segundo a Aneel (2014), 475 usinas movidas a biomassa estão em operação no Brasil em 2014 (Tabela 2). Os tipos de biomassa utilizadas são: bagaço de cana de açúcar, resíduos de madeira, licor negro, biogás, casca de arroz e capim elefante. O bagaço de cana de açúcar é a biomassa mais utilizada, em função da grande quantidade de usinas de cana de açúcar do país. As usinas são do tipo autoprodução de energia (APE), autoprodução com comercialização de excedente (APE-COM), comercialização de energia (COM), produção independente

de energia (PIE), registro mini micro geradores RN482/2012 (REG-RN482) e de serviço público (SP).

Tabela 3 - Energia produzida por algumas fontes renováveis.

Fontes de Energia	Energia produzida Kcal/kg	Energia produzida por ha/ano kcal
Capim elefante Paraíso	4.200	189.000.000
Capim Bachiaria brizantha	3.900	97.500.000
Eucalyptus grandis	4.641	92.820.000
Bagaço de cana	3.700	29.600.000
Lenha de cerrado	4.200	420.000

Fonte: adaptado de Vilela (2012).

O capim elefante tem sido estudado não somente para a produção de energia através da queima direta de sua biomassa mas, como carvão vegetal. Nos últimos anos, vem sendo desenvolvida uma nova técnica de se substituir o carvão mineral utilizado em pelotas de minério de ferro, por carvão derivado de biomassa seca de capim elefante, e neste sentido, um novo rumo deve ser dado em relação às características que se deseja obter da planta para a produção de carvão (QUESADA, 2001).

2.2.2 Capim Elefante

O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) é uma gramínea nativa da África Ocidental, sendo considerada a origem de sua variabilidade genética. As regiões da Guiné, Moçambique, Angola, Zimbábue, e sul do Quênia são consideradas como principais territórios de biodiversidade desta forrageira (FERREIRA; PEREIRA, 2005).

A descrição original do capim elefante data de 1827 (BOTREL, 1992), porém sofreu modificações ao longo do tempo. É uma das gramíneas mais importantes e difundidas em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (CARVALHO et al., 1997).

O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma monocotiledônea cuja estrutura morfológica é bastante semelhante ao bagaço de cana-de-açúcar. Possui em sua composição 65% de fibras e 35% de material não fibroso, sendo o teor de fibras fundamental para a produção de carvão. Ainda

existem outras aplicações que a biomassa produzida por esta espécie pode oferecer, como a queima direta em olarias (MAZZARELALLA,2007). Segundo Kauter et al.(2006), a biomassa de plantas que apresentam teor de fibras acima de 30% já podem ser adaptados para a produção de energia.

O capim-elefante é uma gramínea perene de colmos robustos e crescimento ereto, com propagação vegetativa, apresentando alto potencial de produção de matéria seca e boa qualidade nutritiva. Devido a sua origem tropical, adaptou-se muito bem às condições de clima e solo de quase todo o Brasil (PASSOS, 1994).

Segundo Lopes (2004), o capim elefante possui várias cultivares, que podem ser divididas em cinco grupos, de acordo com a época de florescimento, pilosidade da planta diâmetro do colmo, formato da touceira, largura da folha, número e tipo de perfilhos. Esses grupos são o Anão: o Cameroon, com as cultivares Cameroon, Piracicaba, Vruckwona e Guaçu; o Mercker; e o Napier, com as cultivares Napier, Mineiro e Taiwan A-146. Hoje existem também híbridos interespecíficos resultantes do cruzamento entre espécies de *Pennisetum*, principalmente *P.purpureum* e *P. glaucum (ex.americanum)*.

2.2.3 Exigências Climáticas do Capim Elefante

Segundo Skerman e Riveros (1992), a temperatura ótima para o crescimento da espécie é de 25 a 40°C, com a mínima em torno de 15°C.No Brasil, por suas características edafoclimáticas regionais, o capim elefante ocorre praticamente em todos os estados, com destaque para os estados da região sudeste, principalmente Minas Gerais.

No Sul do Brasil, 70% da produção do capim-elefante concentram-se no período do verão (DESCHAMPS, 1997). O plantio na época adequada é de vital importância para sua utilização eficaz e rápida. Para a região sudeste do Brasil, Alcântara et al. (1980) recomendam para espécies de forrageiras tropicais a semeadura ou plantio nos meses de setembro ou outubro, quando as temperaturas forem elevadas e as chuvas forem regulares.

2.3 EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA

O capim elefante está entre as espécies de mais alta eficiência fotossintética, ou seja, entre aquelas de melhor aproveitamento de energia radiante e sua conversão em biomassa (CARVALHO et al., 1997).

O princípio básico da produção de biomassa em forrageiras é a transformação da energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese, para ser convertida em massa verde, inicialmente nas folhas (GOMIDE, 1973). O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) possui metabolismo C₄, resultando numa grande acumulação de matéria seca. Apresenta características qualitativas que a credenciam a ser estudada para a produção de energia, como por exemplo, um percentual de fibra elevado, semelhante à cana-de-açúcar (QUESADA et al., 2004).

Entre todas as variáveis relacionadas ao crescimento e produção das plantas, a área foliar, interceptação de luz, fotossíntese e ambiente luminoso são muito importantes, visto que 90% da massa seca das plantas é devido à assimilação fotossintética de carbono (PEDREIRA et al., 1998).

O capim-elefante é uma planta C₄, caracterizada pela enzima descarboxilativa NADP-málica (GUTIERREZ et al., 1976). Portanto, a assimilação do CO₂ não está sujeita a reduções drásticas causadas por elevações de temperatura ou por déficit hídrico moderado, como ocorre nas plantas C₃. Cooper (1970) afirmou que o capim-elefante talvez fosse a mais eficiente planta conhecida na conversão de luz solar em matéria seca, com produção anual de massa seca de 85,2 t/ha em El Salvador.

2.3.1 Produção de Biomassa e Intervalos de Corte de Capim Elefante

O capim elefante possui uma boa produção de biomassa segundo vários autores a produtividade aumenta com aumento de intervalos de corte. Estudando a influência de intervalo de corte na produção de biomassa Sales et al. (2013) concluíram que há maior acúmulo de biomassa de capim elefante com maior intervalo de corte.

Britto et al. (1966) concluíram que quanto maior o intervalo de corte do o capim elefante, maior é o teor de fibra e menor o de proteína, observando

valores para colmos de 31,3% e 38,8% de fibra, respectivamente para 4 e 14 semanas, e 9,6% e 3,4% de proteína, respectivamente. Dessa forma, o manejo do capim elefante utilizado para produção de energia deve ser distinto ao da utilização na nutrição animal, com intervalo de cortes maiores (2 colheitas no ano), para que o teor de fibra e seus componentes sejam os maiores possíveis. Savioli et al. (2000), encontraram valores de lignina de 11,5% para o capim elefante Napier e 9,3% para o Colômbio.

A habilidade de produzir acima de 40 toneladas de biomassa seca por hectare faz com que o capim elefante passe a ser visto como opção, e até mesmo solução, para os programas de agroenergia baseados no uso da biomassa vegetal (ZANETTI et al, 2010).

2.3.2 Leucena

A leucena (*Leucaena spp*) é uma leguminosa perene de porte arbustivo a arbóreo, geralmente de autofecundação, originária da América Central, que possui sistema radicular profundo e pode atingir porte elevado quando crescido livremente (SARGIA SÁ, 1997).

Segundo a National Academy of Sciences (1977), são conhecidas dez espécies de leucena: *L. leucocephala*; *L. pulverulenta*; *L. diversifolia*; *L. lanceolata*; *L. collinsii*; *L. esculenta*; *L. macrophylla*; *L. retusa*; *L. shannanii* e *L. trichodes*.

Existem mais de cem variedades de leucena, agrupadas em três tipos principais: o tipo arbustivo, de até 5 metros de altura; o tipo arbóreo, com até 20 metros de altura e o tipo médio, mais engalhado e folhoso (VEIGA; SIMÃO NETO, 1992).

Nesta dissertação utilizou-se a espécie *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (*Fabaceae*), doravante denominada Leucena.

De acordo com Oliveira (2008), a Leucena apresenta um sistema radicular profundo, com poucas raízes laterais que ocorrem em pequeno número próximas à superfície do solo. As folhas são bipinadas, com 15 a 20 cm de comprimento, apresentando quatro a dez pares de pinas, cada uma com cinco a vinte pares de folíolos em cada pina. Cada folíolo apresenta 7 a 15 cm de comprimento e 3 a 4 mm de largura. A inflorescência é globosa e solitária, sobre

pedúnculo com mais de 5 cm de comprimento, apresentando numerosas flores brancas. Essas inflorescências são de autopolinização que resultam em cachos de vagens estreitas e achatadas, com 20 cm de comprimento e 2 cm de largura, portando de 2 a 13 sementes de cor marrom (SKERMAN, 1977).

As sementes de *Leucena* apresentam dormência mecânica proveniente da rigidez do tegumento, a qual se denomina semente “dura”. As sementes “duras” apresentam germinação baixa, lenta e irregular. A semeadura sem prévio tratamento para a quebra da dormência resulta, geralmente, em índice inferior a 50% de germinação. A quebra da dormência pode ser realizada por meio de dois métodos: imersão das sementes em água quente (80°C por 3 a 4 minutos) seguida de semeadura imediatamente após o tratamento; ou tratamento de uma mistura de leucena e areia em escafificador mecânico ou pilão e lixando o tegumento das sementes (KLUTHCOUSKI, 1982).

Segundo Franco et al. (1986), a *Leucena* pode ser consorciada com gramíneas para formação de um banco de proteínas destinadas à alimentação animal.

A *Leucena* é uma forrageira promissora, principalmente pela capacidade de rebrotar, mesmo durante a época de seca (SOUZA, 1999). Ela cresce rapidamente produzindo bastante folhas. No entanto, a produtividade depende da variedade, do espaçamento, do solo e das condições climáticas (SALVIANO, 1993).

2.3.3 Utilidades da *Leucena*

Devido aos resíduos de madeiras serem uma das matérias primas utilizadas nas usinas termoelétricas para a geração de energia, optou-se por realizar um estudo da produção da biomassa e qualidade da mesma.

A *leucena* é uma planta com grande diversidade de uso e que tem recebido muita atenção como opção de cultivo nos trópicos. É usada especialmente para produção de forragem e adubação verde. Também pode ser utilizada para produção de lenha, carvão, celulose e madeira. Forma simbiose eficiente com bactérias do gênero *Rhizobium* em nódulos produzidos nas raízes, podendo usar o nitrogênio contido na atmosfera e dispensando a adubação nitrogenada (FRANCO et al., 1986).

Existem dados bastante seguros de um potencial de fixação de nitrogênio da leucena em torno de 600 kg de N/ha ano (SANGINGA et al., 1984).

A leucena é uma leguminosa arbórea, originária da América Central, de emprego bastante diversificado. Seu uso na alimentação animal pode elevar sensivelmente a produtividade dos rebanhos em regiões tropicais onde as pastagens predominantes não são capazes de atender às demandas de energia, proteína e minerais, especialmente devido à estação seca mais prolongada. Além de forragem de boa qualidade, a leucena produz grande quantidade de sementes viáveis, o que facilita sua propagação em larga escala (VEIGA; SIMÃO NETO, 1992).

2.3.3.1 Exigências Climáticas da Leucena

A faixa ótima de temperatura para o crescimento da leucena está entre 22°C a 30°C e raramente ele cresce em temperatura abaixo de 15°C. É tolerante a seca, mantendo-se verde durante o inverno, perdendo, no entanto os folíolos quando sombreada e em períodos de seca mais prolongada e mesmo quando ocorrem geadas leves. Tem preferência por solos bem drenados e corrigidos quanto à acidez e ao alumínio tóxico (GARCIA SÁ, 1997).

2.3.3 Caracterização e Qualidade da Biomassa

Para o uso da biomassa como biocombustível é necessário conhecer suas propriedades para viabilidade de utilização na produção de energia.

O teor de fibras é um importante componente a ser avaliado, ele está diretamente ligado ao potencial calorífico do material. Os constituintes da parede celular são diversos nas diferentes espécies de planta e sua proporção depende da maturidade do vegetal. Vários autores relatam aumentos nos teores de matéria seca, Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA) e celulose, e redução do teor de proteína do capim-elefante, durante o seu desenvolvimento. Nesse contexto, Van Soest (1967) propôs, um método para solubilizar o conteúdo celular, a hemicelulose e a maior parte da proteína insolúvel, obtendo um resíduo insolúvel (lignocelulose) chamado de Fibra em Detergente Ácido (FDA), constituída, em sua quase totalidade, de celulose e lignina

(lignocelulose), de proteína danificada pelo calor e parte da proteína da parede celular e de minerais insolúveis (cinzas). Por intermédio de reagentes como ácido sulfúrico (72%) ou permanganato de potássio a lignina é solubilizada, completando o fracionamento dos constituintes.

Algumas das propriedades das matérias primas para uso energético podem ser obtidas através da análise imediata. Essa análise refere-se ao registro de percentual de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo (NOGUEIRA et al., 2005).

Dentre as características dos combustíveis, o poder calorífico é um dos mais importantes, pois é um parâmetro para avaliação das propriedades energéticas da biomassa como combustível (BRAND, 2010; FRIEDL et al., 2005; PARIKH et al., 2005). Segundo Andrade et al. (2004), o poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia, em forma de calor, liberada na combustão completa de uma unidade em massa ou em volume, de determinado combustível. Não depende das condições em que é queimado, visto que considera a combustão completa e geralmente é dividido em superior e inferior. O poder calorífico superior ocorre quando a água do combustível está na forma líquida. O poder calorífico inferior é quando a água do combustível se apresenta na forma de vapor (NOGUEIRA et al., 2005).

Com base nos elevados potenciais e histórico de cultivos bem sucedidos de capim elefante e leucena no Brasil e no estado do Paraná é que se optou por realizar o presente estudo incluindo estas duas espécies.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, P. B.; ALCÂNTARA, V. B. G.; ALMEIDA, J. E. Estudo de vinte e cinco prováveis variedades do Capim-Elefante (*Pennsetum purpureum Schum.*). **Boletim da Indústria Animal**, Sao Paulo, v. 37, n.2, p. 279-302, 1980.

ANDRADE, A. M. de; PASSOS, P. R. de A.; MARQUES, L. G. da C.; LIVEIRA, L. B.; VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. das D. de S. Pirólise de resíduos do Coco-da-Baía (*Cocos nucifera L.*) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 707-714, 2004.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Fontes**

Renováveis:biomassa.2008 Disponível em

<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf> Acesso em: 20 mar. de 2013.

_____. **Matriz Energética do Brasil**.2014.Disponível em
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=5&ger=Combustivel&principal=Biomassa>> Acesso em: 02 fev. de 2014.

BOTREL, M. A.; ALVIN, M. J.; XAVIER, D. F. Efeito da irrigação sobre algumas características agronômicas de cultivares de capim elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1731 – 1736,1992.

BRITTO, D. P. P. S. de; ARONOVICH, S.;RIBEIRO, H. Comparação entre 2 variedades decapim elefante e de 6 diferentes espaços detempo entre os cortes das plantas. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Centro-Sul**, Rio de Janeiro, n.4, p. 1681-1687, 1966.

BRAND, M. A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2010. 131p.

BRASIL. **Plano nacional de agroenergia 2006-2011**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110p.

CARMEIS, D. W. **Mapeamento de competências e infra-estrutura no setor de energia**. CGEE, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. Brasília, 2003.
CARVALHO, G. G. P.; GARCIA, R.; PIRES, A. J. V. Fracionamento de carboidratos de silagens de capim elefante emurcheado ou farelado de cacau. **Revista Brasileira de Zootecnia**, V. 36, n. 4, p. 1000- 1005, 2007.

COELHO, J. C. **Biomassa, biocombustíveis, bioenergia**. MME- Ministério das Minas e Energia,Brasilia-DF,1982,100 p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Cana – de – Açúcar.2012/2013.Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf>. Acesso em: Jan.2013

COOPER, J.P. Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. **Herb. Abst., Wallingford**, v. 40, n. 1, p. 1-15, 1970.

COUTO, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. Vias de Valorização Energética da Biomassa. **Biomassa & Energia**, V. 1, n.1, p 71-92,2004.

COWIE, A.L.; GARDNER, D.W. Competition for the biomass resource: Greenhouse impacts and implications for renewable energy incentive schemes. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31, n. 1, p. 601-607, 2007.

DESCHAMPS, F. C. Perfil fenológico de três ecotipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum*). In: **REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECCIA**, 34, 1997. Juiz de Fora. Anais...Juiz de Fora: SBZ, v. 02, p. 61-63, 1997.

FERREIRA, R. P.; PEREIRA, A. V. **Melhoramento de Forrageiras**. In: BORÉM, A. (Ed). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, MG: UFV, p.781-812, 2005.

FRANCO, A. A.; SOUTO, S. M. **Leucaena leucocephala – Uma Leguminosa com múltiplas utilidades para Trópicos**.UPANPS:Embrapa, 1986. (Circular Técnica, n. 2)

FRIEDL, A.; PADOUVAS, E.; ROTTER, H.; VARMUZA, K. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Analytica Chimica Acta**, v. 544, n. 1-2, p. 191-198, 2005.

GARCIA SÁ, J. P. **Leucena: utilização na alimentação animal**. Embrapa Circ. Tec. nº 96.Londrina,1997.

GOMIDE, J. A. Fisiologia e manejo de plantas forrageiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 2, n. 1, p. 17- 25, 1973.

GUTIERREZ, M.; EDWARDS, G.E.; BROWN, W.V. PEP carboxilase containing species in the Brachiaria group of the family Panicoidae. **Biochem Syst. & Ecol.**, 4:47-49, 1976.

IPCC.**Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**.Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. Disponível em:
<http://www.ccst.inpe.br/Arquivos/ipcc_2007.pdf> Acesso em: 02 mar. de 2012.

KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEINA, W.Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use. A review of the physiological basis and management influences. **Biomass and Bioenergy**, v.24, p.411-427,2006.

KLUTHCOUSKI, J. **Leucena: alternativa para a pequena e média agricultura**. Brasília: Embrapa, 1982. (Circular Técnica, n. 6, 2. ed)

LEMUS, R.; BRUMMER, E. C.; MOORE, K.J.; MOLSTAD, N.E.; BURRAS, C.L.; BARKER, M.F. Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: **Biomass and Bioenergy**, v.23,p.433-442,2002.

LOPES, B.A. **O Capim Elefante**. Seminário apresentado a disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionas e alimentação de ruminantes) Universidade federal de Viçosa. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zoologia. Viçosa.2004.56p.

MAZZARELLA, V. N. G. **Capim Elefante com Fonte de Energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas**. Jornada Madeira Energética. Rio de Janeiro, 2007.

MORAIS, R.F.D. **Potencial Produtivo e Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio de Cinco Genótipos de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para Uso como Fonte Alternativa de Energia**. 2008.87 f.Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Instituto de Agronomia, Seropédica, RJ, 2008.

MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J.; LEITE, J. M.; SOARES, L. H.; ALVES, B. J.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Produção, qualidade de biomassa e fixação biológica de N em genótipos de capim-elefante destinados à geração de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.133-140, 2009

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Washington, EUA. **Leucaena - promising forage and tree-crop for the tropics**. Washington, National Research Council, 1977. 115p.

NOGUEIRA, L. A. H.; ROCHA, C. R.; NOGUEIRA, F. J. H. **Eficiência Energética no uso de vapor**.2005.188p. Disponível em: <https://eva.fing.edu.uy/file.php/253/Libros/Livro_Vapor.pdf> Acesso em: 10 jan. de 2014.

OLIVEIRA, A. B. Germinação de sementes de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit.), var. K-72. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 08, n. 02, p. 166-172, 2008.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV de from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v. 84, n. 5, p. 487-494, 2005.

PASSOS, L. P. Estado do conhecimento sobre a fisiologia do capim elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM ELEFANTE, 2, 1994, Juiz de Fora. **Anais....Juiz de Fora: EMBRAPA/CNPGL**, p. 15- 56, 1994.

PEDREIRA, C. G. S.; NUSSIO, L. G.; SILVA, S. C. Condições edafo-climáticas para produção de *Cynodon spp*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", p. 85-114, 1998.

QUESADA, D. M. **Seleção de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para a alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN)**. 2001. 140 p. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,Seropédica, RJ.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Seropédica: Embrapa, Nov. 2004,4p. (Circular Técnica, 8).

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) com potencial para uso energético, na forma de carvão vegetal**. 2005.65 f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2005.

ROCHA, E. P. A; SOUZA, D. F; DAMASCENO, S. M. ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE BRIQUETE DE CAPIM COMO FONTE ALTERNATIVA DE

ENERGIA PARA QUEIMA EM ALTO – FORNO. In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia Química em Iniciação Científica**. Uberlândia/MG,2009.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V. ; ROTHMAN, H. **O uso da biomassa para a produção de energia na indústria brasileira**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005,447p.

SALES, F. A., CARAMORI, P. H., DA SILVA RICCE, W., LANÇANOVA, J. A. C., COSTA, M. A. T., ZARO, G. C., DE FRIAS, D. B. (2013). Produtividade de Capim Elefante e Leucena em diferentes intervalos entre cortes. **BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports**, 2(3), 182-185.

SALVIANO, L. M. **Leucena** :fonte de proteínas para os rebanhos. Petrolina, Embrapa-CPATSA,1993. 16p. (Circular Técnico, 11).

SANGINGA, N.; MULONGOY, K.; AYANABA, A. **Inoculation of *Leucaena leucocephala* (Lam.de Wit) With Rhizobium and its contribution to a subsequent maize crop**. Second Int. Conf Biol. Agric. The role of microorganisms in Sustained agriculture. Wge college, Ashford, Kent, UK. SEP.37.1984.

SAVIOLI, N. M. F. de.; FUKUSHIMA, R. S.; LIMA, C. G.; GOMIDE, C. A. Rendimento e comportamento espectrofotométrico da ligninaextraída de preparações de parede celular, fibraem detergente neutro (FDN) e fibra em detergenteácido (FDA). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 988-996, 2000.

SCHEMER, M.R.; VOGEL, K.P.; MITCHELL, R.B.; PERRIN, R.K. Net energy of cellulosic ethanol from switch grass. **PNAS**, v.105, n.2, p. 464-469, 2008.

SKERMAN, P. J. **Tropical forage legumes**. Roma: FAO, 1977. 609p.

SKERMAN, P. J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Roma: FAO.1992. 849p.

SOUSA, F. B. **Leucena**: produção e manejo no Nordeste brasileiro. Sobral: EMBRAPA CAPRINOS, 1999, 20p.

URQUIAGA S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R, M. Produção de biocombustíveis: **A questão do balanço energético**. **Revista Política Agrícola**. Ano XIV N° 1- Jan./fev./mar. 2005.

VEIGA. J. B.; SIMAO NETO, M. **Leucena na alimentação animal**: recomendação básica. Belém, PA:EMBRAPA:AMAZONIA ORIENTAL. (EMBRAPA – CPATU. Recomendações básicas, 0.19), 1992. 4p.

VILELA, H. **Capim Elefante paraíso na bioenergia**. Carbono Brasil. Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com/images/documentos/capim.doc>> Acesso em: 20 Abr.2012.

ZANETTI, J. B.; MORAIS, R. F., ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; SOARES, L. H. B. **Balanço de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais**. Seropédica RJ: Embrapa Agrobiologia, Dez.2010,24p. (Boletim Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

3. ARTIGO A: PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA NO NORTE DO PARANÁ.

3.1 RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a produtividade de biomassa e de energia de capim elefante e de leucena, em plantios isolados ou em consórcio, com diferentes intervalos de cortes no norte do Paraná. O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, Ibiporã, PR. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. Na parcela principal foi avaliada a produção total de biomassa. Nas subparcelas foram avaliadas duas épocas de corte: corte fixo aos 60 dias e 120 dias de cultivo. Os tratamentos de cortes com intervalos de 60 dias propiciaram uma média de rendimento de massa seca inferior aos tratamentos com cortes de intervalos de 120 dias. As análises bromatológicas mostraram que há um maior percentagem de FDN e FDA no intervalo de corte de 120 dias. Os resultados encontrados na produção de biomassa de capim elefante são favoráveis ao uso do mesmo como fonte de matéria prima para produção de bioenergia no Paraná. A leucena, por ter crescimento inicial mais lento, necessita de avaliações por um período mais prolongado para obtenção de resultados conclusivos.

Palavras-chaves: Épocas de corte, Matéria seca, Cultivar Cameroon, *Leucaena leucocephala*, *Pennisetum purpureum*.

3.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the productivity of biomass and energy from elephant grass and leucaena in isolated plantations or intercropped with different cutting intervals in northern Paraná (PR), Brazil. The experiment was conducted at the experimental farm of the Agronomic Institute of Paraná – IAPAR in Ibiporã, PR. The experimental design was randomized blocks with split plots. In the main plot was evaluated total biomass production, and in the subplots two cutting times were evaluated: Fixed cut every 60 days and 120 days of cultivation. The cutting intervals of 60 days provided lower mean yield of dry mass compared with cutting intervals of 120 days. Bromatological analyzes showed that there is higher accumulation of the percentages of NDF and ADF at the cutting interval of 120 days. The results in the production of elephant grass biomass are favorable to the use of it as a source of raw material for bioenergy production in Paraná. The leucaena by having slower initial growth needs assessments over a longer period to obtain conclusive results.

Keywords: Cutting times, dry matter, Cameroon Cultivar, *Leucaena leucocephala*, *Pennisetum purpureum*.

3.3 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem se havido um atenção especial para estudos sobre fontes alternativas de energia. Fontes de energia derivadas de combustíveis fósseis tem sido apontadas como uma das principais causas do aquecimento global. Neste contexto, a biomassa está sendo uma das alternativas com fonte de energia renovável.

Segundo a Aneel (2008), a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada como uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis.

A biomassa além de ser uma fonte de energia renovável, também não emite óxidos de enxofre, responsáveis pelas chuvas ácidas e não contribui para o aumento do efeito estufa, já que o CO₂ emitido é novamente absorvido durante a fotossíntese das plantas (SALOMON, 2007).

A cultura do capim elefante se destaca no que diz respeito à possibilidade de seu uso para a produção de energia alternativa, pois, possui elevado potencial de produtividade de matéria seca e quantidades consideráveis de fibras características que possibilitam seu uso na produção de energia.

Dentre as diversas alternativas de produção de biomassa também destaca-se a leucena (*Leucaena leucocephala*), que é uma leguminosa originária da América Central, México, sendo encontrada em muitas regiões tropicais do mundo. Ela é utilizada na recuperação de áreas degradadas, adubação verde, produção de madeira, produção de carvão vegetal, sombreamento e quebra vento (SILVA et al., 2007).

Para a agricultura do Paraná a exploração de gramíneas C₄, como é o caso do capim elefante, constitui uma alternativa de baixo risco climático e elevado potencial produtivo, que poderá agregar renda aos produtores e viabilizar a produção de energia dentro da propriedade agrícola. Por outro lado, a leucena, além de ter elevado potencial de produção de biomassa, é uma leguminosa fixadora de nitrogênio que não necessita adubação com esse elemento.

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar a produtividade de biomassa de capim elefante e leucena e a influência de diferentes intervalos de cortes na qualidade da biomassa para produção de energia.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização e Localização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR em Ibiporã, PR. Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para determinação das propriedades químicas. A análise foi realizada no laboratório de solos do IAPAR e os resultados são apresentados na Tabela 1.

De acordo com Wener et al (1996), o capim elefante e a leucena enquadram-se como forrageiras de alta exigência nutricional (Grupo I). Onde a exigência mínima para saturação por bases é de 70% durante a implantação. Apesar da saturação por bases na camada de 0-20 cm estar muito próxima dos valores recomendados (Tabela 1), foi realizada a aplicação de 2 t/ha de calcário dolomítico (PRNT=75,2) com o objetivo de elevar a saturação por bases para 77% na camada 0-20 cm, visando manter condições adequadas para o cultivo durante os dois anos seguintes.

Tabela 1 -Análise química do solo nas profundidades de 0,20 e 20-40 cm.

Descrição da amostra	mg/dm ³ g/dm ³		cmolc/dm ³ de solo								
	P	C	PH	AL	H+AL	CA	MG	K	S	T	V
0-20	9,7	13,09	5,1	0,0	5,16	10,45	2,34	0,27	13,06	18,82	69,3
20-40	3,5	7,16	5,4	0,0	4,27	9,97	2,17	0,12	12,26	16,53	74,16

Antes da calagem a área foi arada e após gradeada. Afim de garantir a uniformidade no tratamento com leucena, foram produzidas mudas no viveiro, foi realizado a quebra da dormência das sementes. As sementes foram imersas em água no ponto de ebulição por 3 minutos (SOUZA, 2005). Foram utilizadas três

sementes por tubete, deixando-se somente a mais vigorosa posteriormente. O plantio do capim elefante cultivar cameroon e da leucena ocorreram na primeira quinzena de outubro de 2012. Em fevereiro de 2013 foi realizado um corte de uniformização dos tratamentos. O primeiro corte avaliado ocorreu 60 dias após, em abril de 2013.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. Na parcela principal foi avaliada a produção total de biomassa. Nas subparcelas foram avaliadas as épocas de corte: corte fixo a cada 60 dias e corte fixo a cada 120 dias de cultivo. Os tratamentos avaliados foram: capim elefante com corte aos 60 dias; capim elefante com corte aos 120 dias; leucena com corte aos 60 dias; leucena com cortes aos 120 dias; capim elefante consorciado com leucena com corte aos 60 dias e capim elefante consorciado com leucena com corte aos 120 dias.

As parcelas tiveram uma área de 5 x 10 m, com 4 repetições. Nos tratamentos consorciados foram plantadas 4 linhas de capim elefante e 4 de leucena. Nos tratamentos sem o consórcio foram plantadas 5 linha de cada espécie. A parcela útil utilizada para a avaliação da biomassa nos tratamentos solteiros foi de 12m, já nos tratamentos consorciados foi de 8 m.

Durante o período experimental foi instalada próximo ao lado uma estação meteorológica automática, para coleta de dados diários de temperatura e precipitação, cujos dados mensais constam da tabela 2. Observa-se que a fase de implantação dos tratamentos (outubro e novembro) apresentou baixas precipitações e por isso foi necessário realizar irrigações de manutenção para permitir o estabelecimento das plantas. Este procedimento foi realizado com mangueiras, aplicando-se lâminas de 15 mm duas vezes por semana durante esses dois meses.

Tabela 2 - Média mensal de Precipitação (mm), temperatura mínima, média e máxima e UR diária.

Ano	Mês	Precipitação (mm)	Temp.Min (°C)	Temp.Média (°C)	Temp.Máx (°C)	UR diária (%)
2012	Out	41	19	25	32	62
2012	Nov	93	19	24	30	65
2012	Dez	268	21	26	32	73
2013	Jan	176	19	24	29	75
2013	Fev	355	20	24	30	80
2013	Mar	134	19	23	29	76
2013	Abr	138	17	21	27	74
2013	Mai	140	15	20	25	75
2013	Jun	212	15	18	23	86
2013	Jul	34	12	17	23	72
2013	Ago	0,4	12	19	27	58
2013	Set	77	15	21	28	64
2013	Out	191	17	22	28	64

3.4.2 Produtividade da Biomassa de Capim Elefante e Leucena em Intervalos de Corte de 60 e 120 Dias

Para a avaliação da biomassa foram utilizadas três linhas de cada tratamento, mantendo-se duas linhas externas como bordadura. A biomassa total de cada tratamento foi pesada no campo e em seguida separou-se uma parte da amostra verde para a obtenção de matéria seca.

A produtividade foi quantificada somente para a parte aérea da planta, incluindo as folhas e o caule da leucena e folhas e colmo do capim elefante. Parte do material colhido no campo foi separado para a análise de matéria seca. Esse material foi triturado verde e seco em estufa a 65°C. Para a avaliação do peso de massa seca o material permaneceu na estufa até peso constante.

Os rendimentos da biomassa dos tratamentos nos intervalos de cortes de 60 e 120 dias foram comparados por meio de análises estatísticas.

3.4.3 Análise Bromatológica

A quantidade de fibras é um importante componente a ser avaliado quando se trata de produção de energia através da biomassa. Esse parâmetro é fundamental para viabilizar a utilização do material na produção de energia. Quanto maior o teor de fibras maior o rendimento do poder calorífico.

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Iapar de Ibiporã, PR, destacando-se as análises de fibra de detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA), celulose e lignina, obtidos pelo método de Van Soest (1967).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Rendimentos de Massa Seca de Capim Elefante com Cortes CE 60 e 120 Dias de Cultivo

Os resultados apresentados na Tabela 3, são referentes ao rendimento médio de massa seca (MS) de capim elefante e leucena em plantios isolados ou consorciados, com quatro cortes em intervalos de 60 dias e dois em intervalos de 120 dias. Os tratamentos de cortes com intervalos de 60 dias propiciaram uma média de rendimento de MS inferior aos tratamentos com cortes de intervalos de 120 dias.

Observa-se que nos tratamentos de leucena com cortes de 60 e 120 dias não houve diferença estatística significativa. Os tratamentos de capim elefante solteiro tiveram diferença significativa entre os intervalos de 60 e 120 dias, sendo os cortes de 120 dias com média de acúmulo maior que os cortes de 60 dias.

A predisposição de aumento de acúmulo de MS do capim elefante solteiro, com aumento de intervalo de corte, concorda com as avaliações apresentadas por Queiroz Filho et al. (2000), com cultivar roxo e corte nos intervalos de 40, 60, 80 e 100 dias, em que o capim elefante apresentou um acúmulo de 19,5%, 25,7%, 25,7% e 30,9%, respectivamente. Em trabalhos de Leite et al. (2000) com a cultivar cameroon observou-se maior acúmulo com intervalo de 113 dias, com produtividade de 27,65 t/ha de MS.

Observa-se que a leucena e o capim elefante, apresentam maior acúmulo de massa seca em maiores intervalos de corte. Os resultados condizem com o observado por Drumond e Ribaski (2010), em estudo com leucena em

Petrolina, PE, que apresentou média de 1.250 a 3.150 kg/ha de MS. Lopes et al. (2000), avaliando leucena com três cortes em intervalos de 60 dias, sendo dois cortes na estação chuvosa e dois na estação seca, obtiveram uma média de 3.688 kg/ha e 3.916 kg/ha de MS, respectivamente.

A produção de capim elefante consorciado com leucena apresentou resultados diferentes de Carneiro et al. (2006), que avaliando capim elefante e leucena com seis cortes durante um ano, em intervalos de 60 dias cada, obtiveram uma média mínima de 20,1 t/ha e máxima de 30,3 t/ha de MS.

Tabela 3 -Rendimento de MS t/ha de capim elefante, leucena e capim elefante em consórcio com leucena em 4 cortes de 60 dias e 2 de 120.

Tratamentos	60 dias		120 dias		Médias
Capim solteiro	12.985,06	aB	27.160,86	aA	20.072,96
Leucena solteira	1.373,14	bA	2.511,62	bA	1.942,38
Capim + Leucena	11.444,85	aB	25.125,56	aA	18.285,21
Médias	8.601,02		18.266,01		

Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias. Minúsculas na vertical, maiúsculas na horizontal. Teste de Tukey a 5%.

Observando os resultados encontrados de produtividade de massa seca nos diferentes tratamentos e nos diferentes intervalos de corte, o melhor tratamento para a produção de energia nesse estudo, é o tratamento de capim elefante solteiro com intervalo de corte de 120 dias.

3.5.2 Percentagem de Fibra em Detergente Neutro (FDN) e em Detergente Ácido (FDA), Celulose E Lignina

Constam na Tabela 4, os rendimentos médios de FDN e FDA de 4 cortes com intervalos de 60 dias e dois de 120 dias. Observa-se que há um aumento no acúmulo das percentagens de FDN e FDA no maior intervalo de corte. A análise de FDA representa uma estimativa do teor de celulose e lignina da amostra, os quais estão apresentados na tabela 5.

Tabela 4 -Rendimento médio de FDN e FDA com 60 e 120 dias de cultivo.

Tratamento	FDN		FDA	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
Capim solteiro	68,43	76,82	45,92	51,18
Leucena solteira	44,44	29,33	36,94	21,09
Capim+Leucena	57,84	54,68	39,67	38,61

Em geral, as concentrações de FDN e FDA aumentaram com a idade da planta. Para produção de biomassa destinada ao uso energético, quanto maior esses valores, maior e melhor será a qualidade da biomassa (SANTOS et al., 2003).

Os valores encontrados no presente estudo são semelhantes aos de Santos et al. (2001), trabalhando com capim elefante cultivar roxo com 45 dias de cultivo, em que obtiveram uma média de 72,27 % de FDN e 41,89 % de FDA, e aos de Queiroz Filho et al. (1998), que avaliando a cultivar cameroon com dezoito cortes durante três anos, observaram uma média de 75,4% de FDN e 40,9% de FDA.

Os valores encontrados de FDN no intervalo de 60 dias condizem com os observados por Lopes et al.(2000), que trabalhando com corte de leucena na estação chuvosa obteve 43,12% de FDN; no entanto diferenciam no percentual de FDA, pois os mesmos observaram um valor de 27,58%.

A composição de percentual de celulose de capim elefante encontrada no presente estudo é maior do que o observado por Santos et al.(2003),que trabalhando com cultivar roxo com cortes de intervalos com 15, 30 e 45 dias, obtiveram 31,17%, 30,68% e 31,15% de celulose respectivamente. Em relação ao percentual de lignina, o resultado observado no presente estudo foi próximo ao apresentado por Quesada et al.(2004),que trabalhando com o cultivar cameroon encontrou 8,65% de lignina e com cultivar roxo 8,34%. Segundo esse mesmo autor, o potencial energético da biomassa está relacionado ao seu teor de carbono, que é o principal constituinte da lignina.

Com relação à leucena, os resultados observados de percentagem de celulose e lignina são inferiores aos apresentados por Pereira et al. (1999), que trabalharam com 58 dias de cultivo da planta e obtiveram 32,32% de celulose e 11,96% de lignina.

Tabela 5 - Média de porcentagem de celulose e lignina de capim elefante e leucena em cultivo solteiro e consorciados.

Tratamento	Lignina		Celulose	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
Capim solteiro	6,28	7,87	34,13	38,52
Leucena solteira	11,03	7,97	24,17	14,63
Capim+Leucena	9,76	7,81	30,09	27,01

3.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos de produção de biomassa de capim elefante são favoráveis ao seu uso como fonte de matéria prima para produção de bioenergia no Paraná.

No presente estudo o tratamento de capim elefante solteiro apresentou maiores rendimentos comparado aos demais tratamentos.

O aumento nos intervalos de cortes de 60 para 120 dias produz maior rendimento de biomassa e maior percentual na composição bromatológica (FDN e FDA, celulose e lignina) da planta, propiciando melhor rendimento energético para o capim elefante.

A leucena possui crescimento inicial lento e devido a isso não mostrou diferença de acúmulo de massa seca nos diferentes intervalos de corte. Assim, a leucena necessita ser avaliada por períodos mais longos para se obter resultados conclusivos.

REFERÊNCIAS

ANNEL. **Agencia Nacional de energia elétrica**. 2008. Disponível em :<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf> Acesso em: janeiro de 2013.

CARNEIRO, M. S. S.; SOUZA, P. Z.; PEIXOTO, M. J. A.; SALES, R. O.; FEITOSA, J. V. EFEITO DO CONSÓRCIO DO CAPIM-ELEFANTE COM LEUCENA NA

PRODUÇÃO DE FORRAGEM. **Revista Caatinga**, vol. 19, núm. 1, enero-marzo, pp. 51-55, 2006.

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK2, L. F. CÂMARA, D. VIAS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. **Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de múltiplo uso para o semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, Dez.2010,8p. (Circular Técnica ,142).

IPCC. **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**. Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/Arquivos/ipcc_2007.pdf> Acesso em: março de 2012.

LEITE, R. M. B.; FILHO, J. L. Q.; SILVA, D. S. PRODUÇÃO E VALOR NUTRITIVO do CAPIM-ELEFANTE CULTIVAR CAMEROON EM DIFERENTES IDADES. **Agropecuária Técnica**.v.21, n. 1/2,2000.

LOPES, W. B.; SILVA, D. S.; PIMENTA FILHO, E. C.; SILVA, R. L.; QUERINO DIAS, J. M. Avaliação Morfisiológica da Leucena (*Leucaena leucocephala*) Submetidas a Dois Espaçamentos em Duas Épocas. **Revista Científica Produção Animal**. v 2.n.2, p. 131-140, 2000.

MAZZARELLA, V. N. G. **Capim Elefante com Fonte de Energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas**. Jornada Madeira Energética. Rio de Janeiro, 2007.

PEREIRA, J.A. et al. Composição química da silagem de capim elefante cv. Napier (*Pennisetum Purpureum*, Schum) com diferentes níveis de leucena cv. Cunningham *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. **Revista científica de Produção Animal**. Fortaleza, v.1, n.2, Julho a Dez,1999.
QUEIROZ FILHO, J. L.; FERREIRA, D. F.; NASCIMENTO, I. S. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpurium Schum.*) cultivar Roxo em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p. 69-74,2000.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Seropédica: Embrapa, Nov. 2004,4p. (Circular Técnica, 8).

QUESADA, D. M.; SILVA, D. S.; NASCIMENTO, I. S.; SANTOS, E. A.; OLIVEIRA SILVA, J. J. Produção de Matéria Seca e Qualidade de Cultivares de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27,n.2,p.262-266,1998.

SALOMON, K. R. **Nº 5 Energia de biomassa**. Apostila utilizada no curso de especialização em Uso Racional de Energia da Universidade Federal de Itajubá, 2007.

SANTOS, E.A.; SILVA, D.S.; QUEIROZ FILHO, J.L. Chemical composition of elephant grass var. Roxo cut at different heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.18-23, 2001.

SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SILVA, M.C.; SANTOS, S.F.; FERREIRA, R.L.C.; MELLO, A.C.L.; FARIAS, I.; FREITAS, E.V. Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa. v.32, n.4, p.821-827, jul./ago. 2003.

SMITH, L.L. Decentralized gasification of napier grass. **Energy economist**. San Juan, Puerto Rico, 2005.

SILVA, L.X.; FIGUEIREDO, M.V.B.; SILVA, G.A.; GOTO, B.T.; OLIVEIRA, J.P.; BURITY, H.A. 2007. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de plantio de leucena e sabiá no estado de Pernambuco. **Revista Árvore**, **31:76-82**. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000174&pid=S0044-5967201300020001400041&lng=en Acesso em: janeiro de 2013.

SOUZA, F. B. **Leucena: Produção e manejo no nordeste brasileiro**. Sobral, CE: Embrapa, 2005.(Circ. Tec. nº 18.[online])

VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. **J. ANIM. Sci.** , 26:119-127, 1967.

4. ARTIGO B: POTENCIAL DE ENERGIA DE CAPIM ELEFANTE E LEUCENA NO NORTE DO PARANÁ.

4.1 RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar as propriedades energéticas de análise imediata e poder calorífico do capim elefante e leucena, com diferentes intervalos de corte para utilização como fonte de bioenergia no estado do Paraná. O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, Ibiporã, PR. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. Nas subparcelas foram avaliados dois períodos de cortes: a cada 60 dias e 120 dias de cultivo. O procedimento de análise imediata da Calsete é uma adaptação da norma ABNT NBR8112 (carvão vegetal – Análise imediata, de 1986), em base seca. O poder calorífico inferior do capim elefante e leucena foi avaliado por meio de dados de análise imediata. As médias de umidade obtidas nos intervalos de corte de 60 e 120 dias apresentaram resultados semelhantes. Os tratamentos solteiros apresentaram maior potencial calorífico comparado ao consórcio leucena + capim elefante. Verificou-se que o capim elefante possui características que possibilitam a sua utilização como fonte alternativa de energia e a leucena apresentou boas qualidades como fonte energética, porém devido ao seu crescimento inicial mais lento as análises devem se estender por um período mais longo.

Palavras-chaves: Análise imediata, poder calorífico, celulose, lignina, análise bromatológica, bioenergia, *Leucaena leucocephala*, *Pennisetum purpureum*.

4.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the energetic properties of immediate analysis and calorific power of elephant grass and leucaena, with different cutting intervals for use as a source of bioenergy in Paraná state (PR), Brazil. The experiment was conducted at the experimental farm of the Agronomic Institute of Paraná – IAPAR in the municipality of Ibiporã, PR. of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in the municipality of Ibiporã, PR. The experimental design was randomized blocks with split plots. In the main plot was evaluated total biomass production of elephant grass and leucaena. In the subplot two cutting times were evaluated: fixed cut at 60 days and at 120 days of cultivation. The immediate procedural analysis Calsete is an adaptation of ABNT NBR8112 (charcoal - Immediate Analysis, 1986), on a dry basis. The lower calorific value of elephant grass and leucaena was assessed by means of immediate analysis data. The average moisture content presented by the cutting intervals of 60 and 120 days were similar. The single treatments had higher calorific potential compared to the consortium leucaena + elephant grass. One can check that the elephant grass has features that allow its use as an alternative energy source and leucaena had good qualities as energy source, however due to its lower initial growth more research is required on the plant.

Keywords: Immediate analysis, calorific power, cellulose, lignin, bromatological analysis, bioenergy, *Leucaena leucocephala*, *Pennisetum purpureum*.

4.3 INTRODUÇÃO

A biomassa tem sido estudada como fonte renovável de energia e diversas são as formas de conversão dessa matéria prima em bioenergia, entre elas o etanol, biodiesel e lenha.

Neste contexto, a qualidade dos combustíveis derivados da biomassa é um importante parâmetro a ser avaliado para sua utilização como fonte energética. Dentre os parâmetros a serem avaliados a característica química é uma das mais importantes para a viabilidade de utilização de um combustível.

Dentre os principais constituintes químicos, o que contem maior influência sobre as características físicas e químicas da madeira é a lignina. Brito e Barrichelo (1978) encontraram correlações positivas significativas de teor de lignina de eucalipto com rendimento gravimétrico e com teor de carbono fixo e, conseqüentemente, correlações negativas com teores de matérias voláteis e de cinzas.

Assim, se faz necessário a avaliação dos constituintes químicos de lignina, carbono fixo, matérias voláteis e cinzas de matérias primas utilizadas na queima para produção de energia.

Os programas de produção de energia por meio da utilização de gramíneas perenes não são novidade, mas foram intensificados a partir dos anos 80, tendo, em seu início, a principal finalidade energética a combustão direta destas gramíneas em fornos, em substituição à lenha e ao carvão (Flores, 2009). Nesse sentido, o capim elefante destaca-se por ter habilidade de produzir acima de 40 toneladas de biomassa seca por hectare em ciclos curtos. Este valor corresponde ao dobro da biomassa produzida pela cultura de eucalipto comumente usados como fonte de energia. Dessa forma, ele passa a ser visto como uma alternativa, e até mesmo solução para os programas de agroenergia baseados no uso da biomassa vegetal (ZANETTI et al., 2010). Para tal finalidade não interessa uma planta rica em proteína para a alimentação de bovinos, e sim uma planta que seja rica em fibras e lignina, aliada a alta produção de biomassa associada a fixação biológica de nitrogênio (FBN), para que o carvão deste material seja de boa qualidade e produzido com mínimo consumo de energia fóssil (QUESADA et al., 2004).

Dentre as diversas fontes de biomassa também destaca-se a leucena (*Leucena leucocephala* (Lam.)), que é uma forrageira promissora, principalmente

pela capacidade de rebrotar, mesmo durante a época seca. Ela cresce rapidamente dependendo do espaçamento, solo e condições climáticas (SALVIANO, 1993; SOUSA, 1999).

A leucena é utilizada na recuperação de áreas degradadas, adubação verde, produção de madeira, produção de carvão vegetal, sombreamento e quebra vento. Apresenta uma produção anual média de 20 a 25 toneladas de forragem por hectare (JUNIOR et al., 2013). Destaca-se como espécie arbórea de rápido crescimento (DRUMOND; RIBASKI, 2010).

Para elucidar os potenciais dessas espécies vegetais faz-se necessário estudos com enfoque na produção de energia. A caracterização imediata é um dos parâmetros a serem avaliados na utilização de um combustível, consistindo basicamente em analisar a umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo.

Dentre as propriedades dos combustíveis, uma das mais importantes é o seu poder calorífico, definido como a quantidade de energia térmica fornecida durante sua queima. O poder calorífico superior pode ser estimado a partir da composição química do combustível ou calculado por meio de um método experimental, enquanto o poder calorífico inferior é calculado a partir de equações empíricas.

Nesse contexto, este trabalho objetivou avaliar as propriedades energéticas do capim elefante e leucena, com diferentes intervalos de corte para utilização como fonte de bioenergia no Paraná.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR de Ibiporã, PR. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. Os tratamentos avaliados foram capim elefante, leucena e o consórcio capim elefante + leucena, com cortes a cada 60 e 120 dias de cultivo (subparcelas).

As parcelas tiveram uma área de 5 x 10 m, com 4 repetições. Nos tratamentos consorciados foram plantadas quatro linhas de capim elefante e quatro de leucena. Nos tratamentos sem o consórcio foram plantadas cinco linhas de cada espécie.

4.4.1 Preparo das Amostras

As amostras foram separadas de parte do material colhido no campo. Para a avaliação das plantas utilizou-se as partes aéreas, constituídas de folhas e colmo do capim elefante e folhas e caule da leucena.

O material foi triturado verde e depois seco em estufa a 65 °C, após a secagem das amostras realizou-se a moagem em um moinho do tipo Willye, equipado com peneira, visando à obtenção de material fino e homogêneo.

4.4.2 Análise Imediata

O procedimento de análise imediata da Calsete é uma adaptação da norma ABNT NBR8112 (carvão vegetal – Análise imediata, de 1986), em base seca. Esta adaptação não modifica a confiabilidade dos resultados.

Na análise imediata o primeiro procedimento a ser realizado é de umidade. As amostras do capim elefante e leucena já trituradas e peneiradas foram transferidas a um recipiente com 1 g de cada amostra, com três repetições de cada, para estufa com temperatura prévia de 105°C. Após a secagem as amostras foram levadas a um dessecador para resfriar. Pesou-se novamente as amostras (m1). O teor de umidade foi calculado pela equação:

$$TU = [(m0 - m1) / m0] * 100$$

Em que TU = Teor de umidade, em%; m0 = massa inicial de amostra, em g; m1 = massa final da amostra, em g.

A análise de matérias voláteis foi feita com 1g de cada amostra sem umidade. O procedimento foi realizado colocando-se as amostras de capim elefante e leucena em cadinhos com tampa, e este na porta da mufla a 900°C por 3min. Após este tempo, colocou-se os cadinhos dentro da mufla fechada por 7min. Resfriou-se os cadinhos em dessecador e determinou-se a massa final. A equação utilizada para o cálculo do teor de materiais voláteis foi:

$$MV = [(m2 - m3) / m] * 100$$

Em que MV = Teor de matérias voláteis, em %; m2 = massa inicial do cadinho + amostra, em g; m3 = massa final do cadinho + resíduo, em g; m = massa da amostra, em g.

Para determinar o teor de cinzas, as amostras de 1g foram colocadas em cadinhos sem tampa e levou-se à mufla com temperatura em torno de 700°C, até a queima completa. Resfriaram-se os cadinhos em dessecador e determinou-se a massa final. A equação utilizada para o cálculo do teor de cinzas foi:

$$\mathbf{CZ = [(m1 - m0) / m]*100}$$

Em que Z = teor de cinzas, em %; m0 = massa do cadinho, em g; m1 = massa do cadinho + resíduo, em g; m = massa da amostra, em g.

O valor do teor do carbono fixo foi encontrado através da diferença dos valores de cinzas e matérias voláteis da amostra. Os cálculos são feitos pela equação:

$$\mathbf{Cfixo = 100 - TU - MV - CZ}$$

Em que Cfixo = teor de carbono fixo, em %; MV = teor de matérias voláteis, em %; CZ = teor de cinzas, em %.

4.4.3 Poder Calorífico Inferior

O poder calorífico inferior do capim elefante e leucena foi avaliado por meio de dados de análise imediata. Quando se dispõe apenas da análise imediata das amostras a serem analisadas, pode-se estimar o poder calorífico (PC) por meio da seguinte equação para carvão vegetal:

$$\mathbf{PC = (82.CF + a.MV)}$$

Em que: CF= carbono fixo, %; a = coeficiente dependente da qualidade do combustível e MV= matérias voláteis.

Para encontrar o valor de **a** é necessário determinar o valor de matérias voláteis em base seca sem cinzas, por meio da expressão:

$$MV' = \frac{MV}{MV + CF} * 100,$$

Com o valor encontrado determina-se o valor de **a** com seguinte equação:

$$a = -1,6043 * MV' + 145,09$$

Aa figura 1 mostra aequação da reta ajustada (BORSATO et al.,2009).

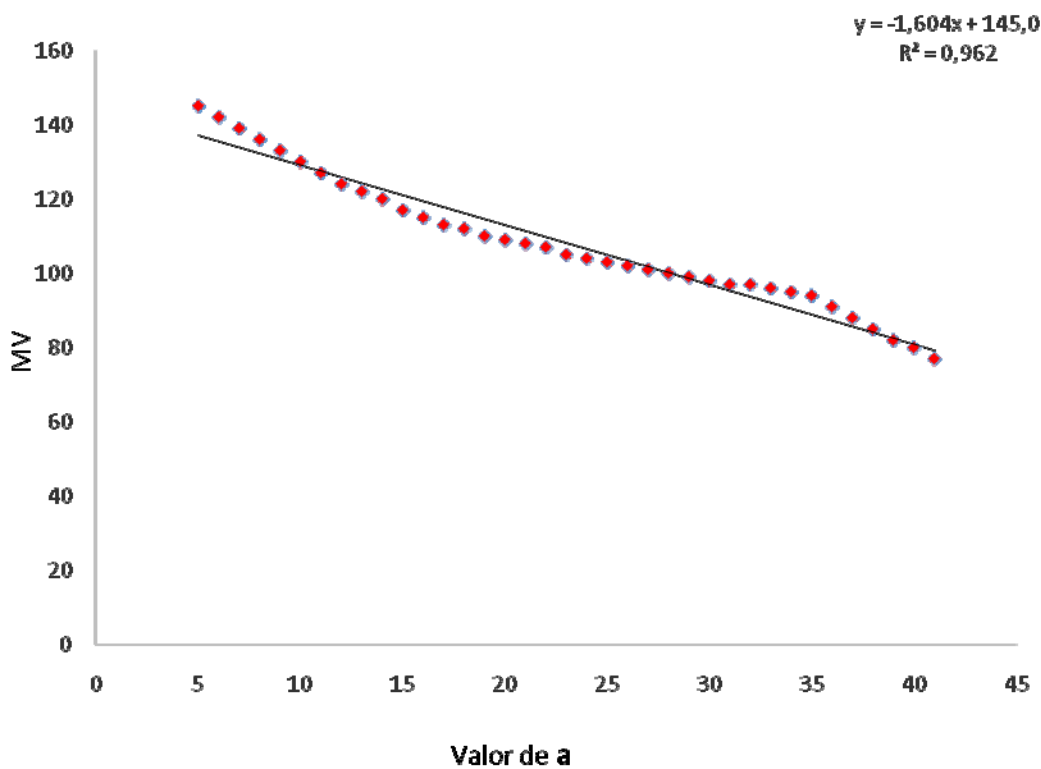


Figura 1 - Equação da reta para determinação do valor de **a**.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Análise Imediata: Umidade, Materiais Voláteis, Cinzas e Carbono Fixo

Os resultados da análise imediata (umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) do capim elefante solteiro em 4 cortes com intervalos de 60 e 120 dias estão apresentados na tabela 1. A umidade dos cortes de intervalos de 60 dias apresentou-se superior aos intervalos de 120 dias. Na tabela 2 estão apresentados os resultados do capim elefante consorciado.

Em relação às matérias voláteis, a média de intervalos de corte de 60 dias apresentou valores inferiores aos obtidos para intervalos de 120 dias.

As cinzas nos intervalos de 60 dias propiciaram média de porcentagem maior que os intervalos de 120 dias. O Carbono Fixo em intervalos de 120 dias apresentou média superior comparado aos intervalos de 60 dias. Em trabalhos realizados com capim elefante por Seye et al. (2003), foram observados 10,8% de umidade, 8,4% de carbono fixo, 82,6% de matérias voláteis e 10,9 % de cinzas. Tavares e Santos (2013), encontraram média de 9,7% de umidade, 89,9% de matérias voláteis e 9,4% de cinzas. Segundo os mesmos, quando a biomassa apresenta maior teor de voláteis e menor de cinzas, normalmente apresenta maior poder calorífico. Paula et al. (2011), trabalhando com cana de açúcar, que é morfologicamente parecida com o capim elefante, obtiveram média de 82,3% de materiais voláteis e 17,16% de carbono fixo.

Tabela 1 -Análise imediata; umidade, matérias voláteis, cinzas e carbono fixo de capim elefante solteiro com cortes de 60 e 120 dias.

Idade corte	Umidade	MV	Cinzas	Carbono Fixo
60 1	8,9	64,6	9,9	16,3
60 2	8,9	64,5	9,3	17,2
60 3	8,3	65,0	11,0	15,7
60 4	8,7	65,2	10,8	15,2
Média	8,7	64,8	10,2	16,1
120 1	6,9	69,8	6,0	17,1
120 2	8,7	66,9	7,8	16,5
Média	7,8	68,3	6,9	16,9

Tabela 2 -Análise imediata; umidade, matérias voláteis, cinzas e carbono fixo de capim elefante consórcio com cortes de 60 e 120 dias.

Idade corte	Umidade	MV	Cinzas	Carbono Fixo
60 1	8,0	67,1	6,2	18,6
60 2	8,2	65,6	11,3	14,7
60 3	9,6	66,4	9,1	14,7
60 4	8,6	65,8	10,4	15,2
Média	8,6	66,2	9,2	15,8
120 1	8,6	67,0	6,3	17,0
120 2	8,2	66,5	8,9	16,7
Média	8,4	66,7	7,6	16,8

Os resultados da análise imediata (umidade, matérias voláteis, cinzas e carbono fixo) da leucena solteira, com 4 cortes em intervalos de 60 dias e 2 cortes com intervalos de 120 dias estão apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4, estão apresentados os resultados da leucena consorcio.

A média de umidade apresentada pelos intervalos de corte de 60 dias e 120 mostraram resultados semelhantes. As matérias voláteis também apresentaram resultados semelhantes nos intervalos de 60 e 120 dias. No quesito cinzas, a média dos intervalos de 60 dias foi superior à média apresentada pelos intervalos de 120. Em relação ao CF, a média nos intervalos de 60 dias foi inferior aos intervalos de 120. Quirino et al.(2005), trabalhando com madeira e matérias lignocelulósicas obtiveram um valor de umidade de 10,5% para o *Eucalyptus* sp. Segundo Cunha et al. (1989), quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão. Brito e Brarrichelo (1978), trabalhando com madeira de oito espécies do gênero *Eucalyptus*, observaram uma média de 81,78% de matérias voláteis, 14,93% de carbono fixo e 0,38% de cinzas.

Tabela 3 -Análise imediata de leucena solteira com cortes de 60 e 120 dias: umidade, matérias voláteis, cinzas e carbono fixo.

Idade corte	Umidade	MV	Cinzas	Carbono Fixo
60 1	8,3	69,3	6,6	15,7
60 2	8,4	67,9	6,6	16,9
60 3	9,3	67,1	6,8	16,5
60 4	7,8	68,2	6,1	17,7
Média	8,4	68,1	6,5	16,7
120 1	8,9	67,1	5,6	18,1
120 2	8,6	67,3	5,6	18,3
Média	8,7	67,2	5,6	18,2

Tabela 4 -Análise imediata de leucena consórcio com cortes de 60 e 120 dias: umidade, matérias voláteis, cinzas e carbono fixo.

Idade corte	Umidade	MV	Cinzas	Carbono Fixo
60 1	8,9	69,4	4,9	17,7
60 2	8,7	67,0	6,6	17,4
60 3	9,6	66,7	6,1	17,4
60 4	8,9	67,3	6,3	17,2
Média	9,0	67,6	5,9	17,4
120 1	8,8	68,8	3,6	18,7
120 2	8,4	68,8	5,1	17,6
Média	8,6	68,8	4,3	18,1

4.5.2 Poder Calorífico

Os valores médios do poder calorífico inferior apresentados pelos tratamentos de capim elefante solteiro e consorciado, com intervalos de cortes de 60 e 120 dias de cultivo estão apresentados na figura 2. Os tratamentos solteiros apresentaram maior potencial calorífico comparado aos tratamentos em consórcio. Na média geral, os cortes com intervalos de 120 dias tiveram um valor maior de PCI, que pode ter relação com teor de fibras. Britto et al. (1966), trabalhando com a influência de intervalo de corte nos teores de fibras de duas variedades de capim

elefante, chegaram à conclusão que quanto maior o intervalo de corte do capim elefante, maior é o teor de fibra.

Em trabalhos realizados por Silva (2012), avaliando o PCI de capim elefante cultivar roxo, napier e o híbrido paraíso, encontrou 4.084, 3,949 e 4.393 kcal, respectivamente. Seye et al. (2003), avaliando o capim elefante encontraram um valor de aproximadamente 3,200 Kcal de PCI.

São poucos os trabalhos que avaliaram o poder calorífico inferior de capim elefante, porém comparado ao bagaço da cana de açúcar, comumente utilizado na queima de caldeiras e morfologicamente parecido, o mesmo apresentou valores compatíveis. Paula et al. (2011), analisando o bagaço de cana de açúcar obteve um valor de 3.855 kcal de PCI. O valor de PCI depende das características químicas do combustível como a umidade, e o poder calorífico superior, que pode ser até 10 % maior que o poder calorífico inferior (NOGUEIRA,2005).

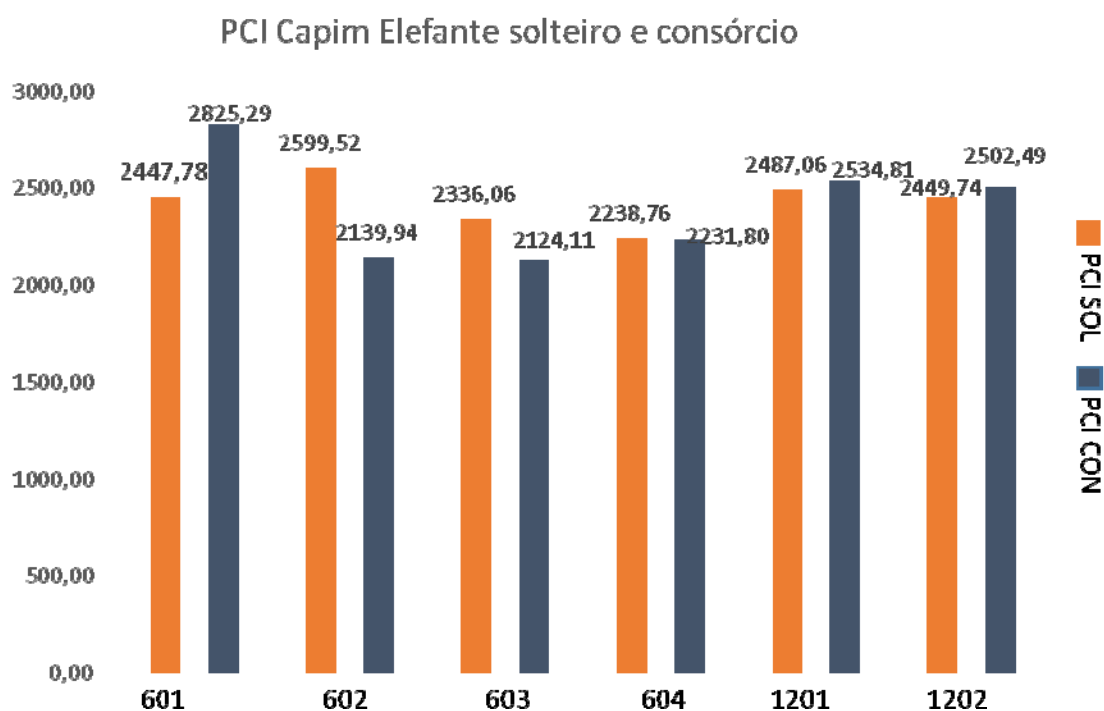


Figura 2 - Média de poder calorífico inferior apresentado pelo capimelefante solteiro e em consórcio com intervalos de cortes de 60 e 120 dias.

Os valores médios do poder calorífico inferior da leucena solteira e em consórcio com capim elefante, em intervalos de cortes de 60 e 120 dias estão apresentados na figura 3.

Observa-se que nos intervalos de corte de 60 dias o PCI é menor comparado aos valores de corte 120 dias. Esses resultados podem ter relação ao fato que nos tratamento consorciados o capim elefante sombreou a leucena, e, dessa forma, ela teve um menor desenvolvimento em relação ao tratamento solteiro. A média dos resultados é superior à de estudos realizados por Nogueira (2005), que apresentou o valor de PCI da lenha de 3.100 kcal.

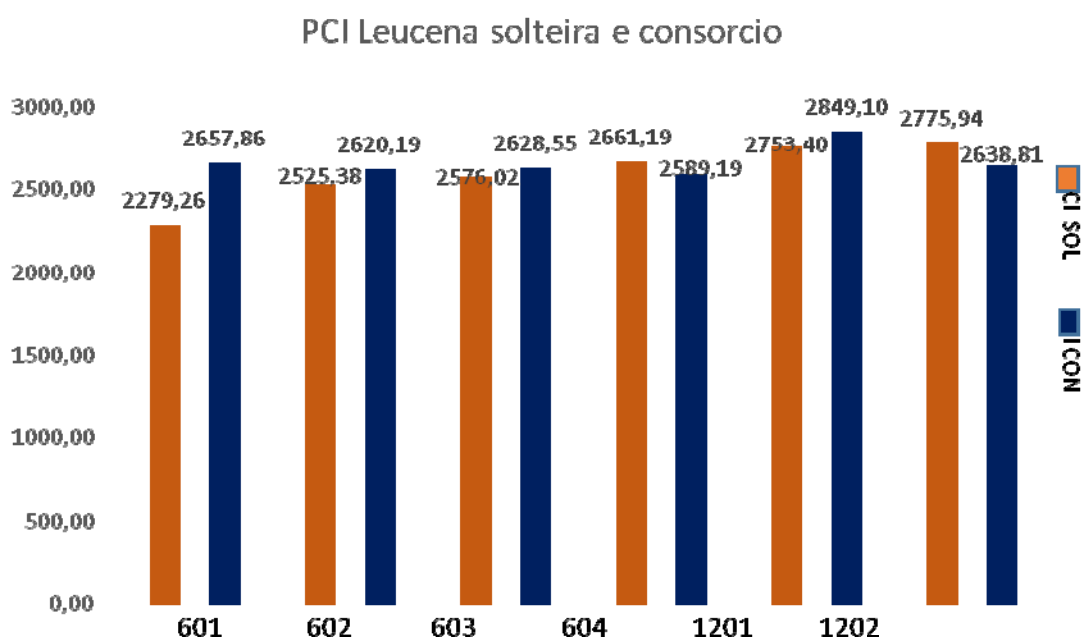


Figura 3 - Média de poder calorífico inferior apresentado pela leucena com intervalos de cortes de 60 e 120 dias.

4.6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados conclui-se que o capim elefante possui características que possibilitam a sua utilização como fonte alternativa de energia. A leucena apresentou boas qualidades como fonte energética, porém devido ao seu ciclo ser mais longo do que o capim elefante, é recomendável estender as análises desta espécie por um período maior para a obtenção de resultados conclusivos.

REFERÊNCIAS

BORSATO, Dionísio; GALÃO, Olívio Fernandes; MOREIRA, Ivanira. Análise Imediata de Carvão IN:_____. **Combustíveis Fósseis Carvão e Petróleo**.Londrina:EDUEL,2009.

BRITTO, D. P. P. S. de; ARONOVICH, S.; RIBEIRO, H. Comparação entre 2 variedades de capim elefante e de 6 diferentes espaços de tempo entre os cortes das plantas. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Centro-Sul**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 1681-1687, 1966.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 63-70, 1978.

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK2, L. F. CÂMARA, D.VIAS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA.**Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: **Anais**.... v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. **Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de múltiplo uso para o semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, Dez.2010,8p. (Circular Técnica ,142).

NOGUEIRA, L. A. H.; ROCHA. C. R.; NOGUEIRA, F. J. H. **Eficiência Energética no uso de vapor**.2005.188p. Disponível em:
<https://eva.fing.edu.uy/file.php/253/Libros/Livro_Vapor.pdf> Acesso em: 10 jan. de 2014.

JUNIOR, G. P. FILHO, M. P. ROUBACH, R. BARBOSA, P. S. B. SHIMODA, E.**Farinha de folha de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. de wit) como fonte de proteína para juvenis de tambaqui (*Collossoma macropomum* CUVIER, 1818)**. Acta Amaz. v.43 n.2 Manaus Jun. 2013.Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672013000200014&script=sci_arttext> Acesso em: janeiro de 2014.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L.CARACTERIZAÇÃO DE RESIDUOS DE BIOMASSA VEGETL. **Cerne**, Lavras, v. 17, n.2, p. 237-246, abr./jun.2011.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. PODER CALORÍFICO DA MADEIRA E DE MATERIAS LIGNOCELULÓSICOS. **Revista Madeira**, n. 89, p. 100-106,2005.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Seropédica: Embrapa, Nov. 2004,4p. (Circular Técnica, 8).

SALVIANO, L. M. C. **Leucena: fonte de proteína para os rebanhos**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1984. 16 p. (Circular técnica, 11).

SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. Olivares. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3. 2003, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200000200022&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 04 Mar. 2014.

SILVA, E. BIOMASSA CULTIVADA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA: **Estudos Comparativos entre Capim Elefante e Eucalipto com a incorporação da Energia Solar na Secagem**.2012. Dissertação (Ciências em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

SOUSA, F. **Leucena: Produção e manejo no Nordeste brasileiro**. Sobral: EMBRAPA CAPRINOS, Jul. 1999,20p. (Circular Técnica online, 18).

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. USO DE DIFERENTES FONTES DE BIOMASSA VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS.**HOLOS**, n.29, v.5,2013.

ZANETTI, J. B.; MORAIS, R. F., ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; SOARES, L. H. B. **Balço de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais**. Seropédica RJ: Embrapa Agrobiologia, Dez.2010,24p. (Boletim Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

5. ARTIGO C: PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE MASSA SECA E ENERGIA DE CAPIM ELEFANTE NO ESTADO DO PARANÁ

5.1 RESUMO

Este estudo objetivou estimar a produtividade potencial de massa seca e energia do capim elefante em função do clima no Paraná, por meio de um modelo agrometeorológico, baseado no conceito de unidades fototérmicas e sem restrições hídricas. Consideraram-se intervalos de corte de 60 dias para as estimativas ao longo dos valores históricos de 21 estações meteorológicas do IAPAR no estado do Paraná. Para determinar o potencial calorífico, a produção de matéria seca (P) foi multiplicada pelo valor do potencial calorífico inferior a cada 60 dias e para a produção anual. A menor produtividade de massa seca ocorreu nos meses de temperaturas mais baixas, entre março a agosto, propiciando um acúmulo de massa seca em torno de 2 a 4 ton/ha. As regiões norte e oeste do estado do Paraná possuem alto potencial de produção de energia, indicando que o capim elefante é uma boa alternativa de produção energética a partir da biomassa.

Palavras-chaves: Unidades fototérmicas, graus dia, Massa seca, produtividade potencial, bioenergia.

5.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate a model to predict the yield of dry matter and energy in for the elephant grass in Paraná state, Brazil. A model considering no water stress and cutting intervals of 60 days was used. A historical series of temperature of 21 weather stations from the Agronomic Institute of Parana – IAPAR was used to run the model. To determine the calorific potential, the estimated dry matter production (P) was multiplied by the lower calorific value of 3,880 * 1000 for production every 60 days and for the annual production. The lower productivity of dry mass occurred in the months of lower temperatures from March to August, providing an accumulation of dry mass around 2-4 ton/ha. The northern and western regions of the state of Paraná have high potential for energy production, indicating that the elephant grass is a good alternative for energy production from biomass.

Keywords: Photothermal units, degree day, dry weight, yield potential, bioenergy.

5.3 INTRODUÇÃO

A biomassa vem adquirindo importância estratégica para o suprimento de energia em vários países (SMEETS; FAJJ, 2009), tornando o estudo de potencialidades de produção dessa fonte de bioenergias cada vez mais necessário.

O capim elefante é uma planta de alta eficiência fotossintética, utilizando o mecanismo C4 de fixação do carbono. Esta característica permite as plantas crescer rapidamente, otimizando o uso da água do solo e da energia solar para produção de biomassa vegetal. Dessa forma, o capim elefante possui capacidade de acumulação de grande quantidade de matéria seca com características qualitativas (porcentual elevado de fibras), o que indica potencial para produção de energia (SAMSON et al., 2005).

O estado do Paraná caracteriza-se pela grande diversidade de condições climáticas, pelo fato de estar em uma região de transição do clima tropical para o temperado e por apresentar relevo acidentado (CARAMORI et al., 2001).

O capim elefante é pouco tolerante a geadas. Em trabalho realizado por Machado et al. (1996), foi observado que o cultivo do em clima frio com ocorrência de geadas ocasiona a morte da parte aérea das plantas e que a rebrotação subsequente é totalmente dependente dos filhotes basais, o que atrasa o processo de recuperação das plantas. Villa Nova et al. (2007) apresentam uma faixa de temperatura de 10 a 17°C, abaixo da qual o crescimento do capim elefante é desprezível ou nulo (MACOON; SOLLENBEERGER; MOORE, 2002).

A cultura do capim elefante é citada como potencial de produção de energia limpa, propiciando elevado volume de biomassa e sequestrando o carbono atmosférico (BODDY et al., 2004).

Nesse contexto, este estudo objetivou avaliar um modelo para previsão de produtividade de massa seca e de energia do capim elefante em função do clima no estado do Paraná.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado o modelo proposto por VILLA NOVA et al. (1999), baseado em unidades fototérmicas e sem estresse hídrico, com intervalos de corte de 60 dias, segundo a equação:

$$UF = \frac{\left(\frac{n}{2} GD\right)^{\frac{Nf}{Ni} - 1}}{\frac{Nf}{Ni} + 1}$$

Em que, UF é o número de unidades fototérmicas correspondente ao período de n dias de desenvolvimento; GD os graus – dia médio do período n dias; Nf o valor do fotoperíodo (horas e décimos) no final do período de crescimento e Ni o valor do fotoperíodo no início do período de crescimento. O valor de GD é expresso pelas equações:

$GD = (T - 15)$, quando a temperatura mínima do ar no período for maior que 15 °C, que corresponde à temperatura base inferior, e

$$GD = \frac{(T_x - 15)^2}{2(T_x T_m)}, \text{ quando for menor que } 15 \text{ °C. Sendo } T_x \text{ a média das}$$

temperaturas máximas do ar do período; T_m a média das temperaturas mínimas do ar do período; T a temperatura média do ar do período, calculada pela média de T_x e T_m e C a correção de temperatura base superior. O autor propõe utilizar um valor de correção quando a temperatura for superior a 30°C, porém como não foi encontrada está temperatura o valor foi suprimido da equação.

Os valores de fotoperíodo (Ni e Nf) foram calculados com base nas equações propostas por (VAREJÃO-SILVA, 2006):

$$N = 2/15 \arccos(-\tan \varphi \times \tan \delta)$$

Em que:

N = duração do dia em horas;

φ = latitude do local (o valor é negativo para o hemisfério sul) e

δ = é a declinação da Terra, calculada pela equação:

$$\delta = 23,45. \text{ sen}[360 (284 + n) /365]$$

Em que n é o dia juliano do ano. Os valores foram transformados em radianos para os cálculos do seno e tangente.

$$P = \frac{12,61}{1 + e^{2,85 - 8,133 \times 10^5 UF}}$$

Em que P é a produção de matéria seca (t/ha no período de 60 dias) e UF é a unidade fototérmica correspondente ao período de 60 dias.

Para determinar o potencial calorífico, a produção de matéria seca (P) foi multiplicada pelo valor médio do potencial calorífico inferior analisado no laboratório de ecofisiologia do Iapar – Londrina de 2.400 *1000 para as produções a cada 60 dias e para a produção anual. A conversão desse valor em Gigajoule é realizada pela multiplicação por 0,000004186.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas de produção de massa seca de capim elefante no estado do Paraná, com intervalos de cortes de 60 dias, estão apresentadas na Figura 1. Como pode se observar, a menor produtividade de massa seca ocorre nos meses de temperaturas mais baixas, entre março a agosto, propiciando um acúmulo de massa seca em torno de 2 a 4 t/ha. Já nos meses mais quentes, o acúmulo de massa seca chega a 14 t/ha, sendo que esse maior rendimento ocorre na região noroeste do estado, onde ocorrem as temperaturas mais elevadas.

Na Figura 1 são apresentadas as estimativas anuais de produção de matéria seca de capim elefante. Com os valores obtidos, podemos observar que o estado do Paraná possui grande potencialidade de produção de capim elefante durante todo o ano, em especial a região noroeste do estado com capacidade de produzir até 40 t/ha. Villa Nova et al. (1999), trabalhando com modelo de estimativa de produção de capim elefante cultivar napier em Porto Rico, obteve uma estimativa de 22 t/ha com intervalo de corte de 40 dias e para o intervalo de 90 dias estimaram uma produção de 49,88 t/ha.

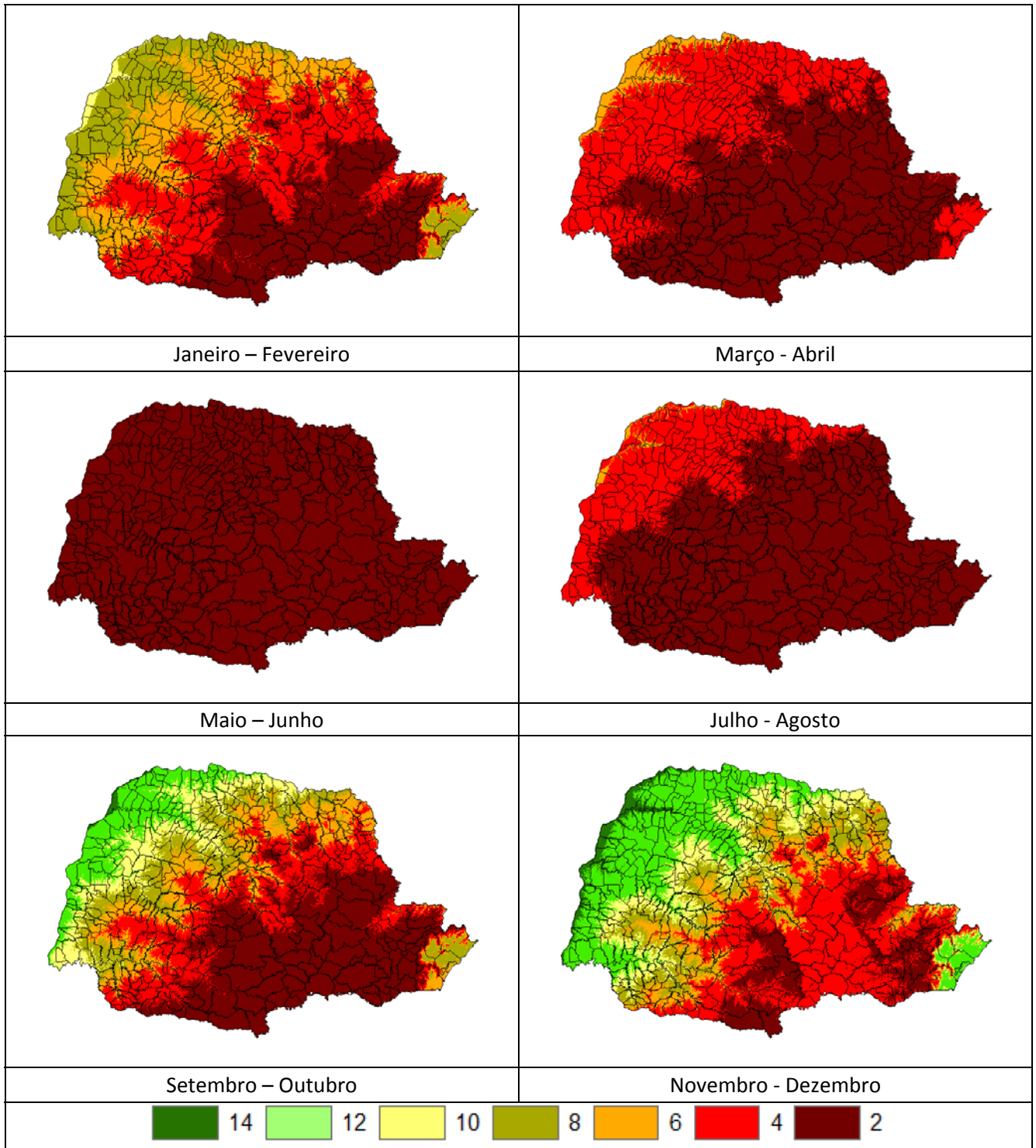


Figura 1 - Estimativa de produção de matéria seca (t/ha) de capim elefante no estado do Paraná.

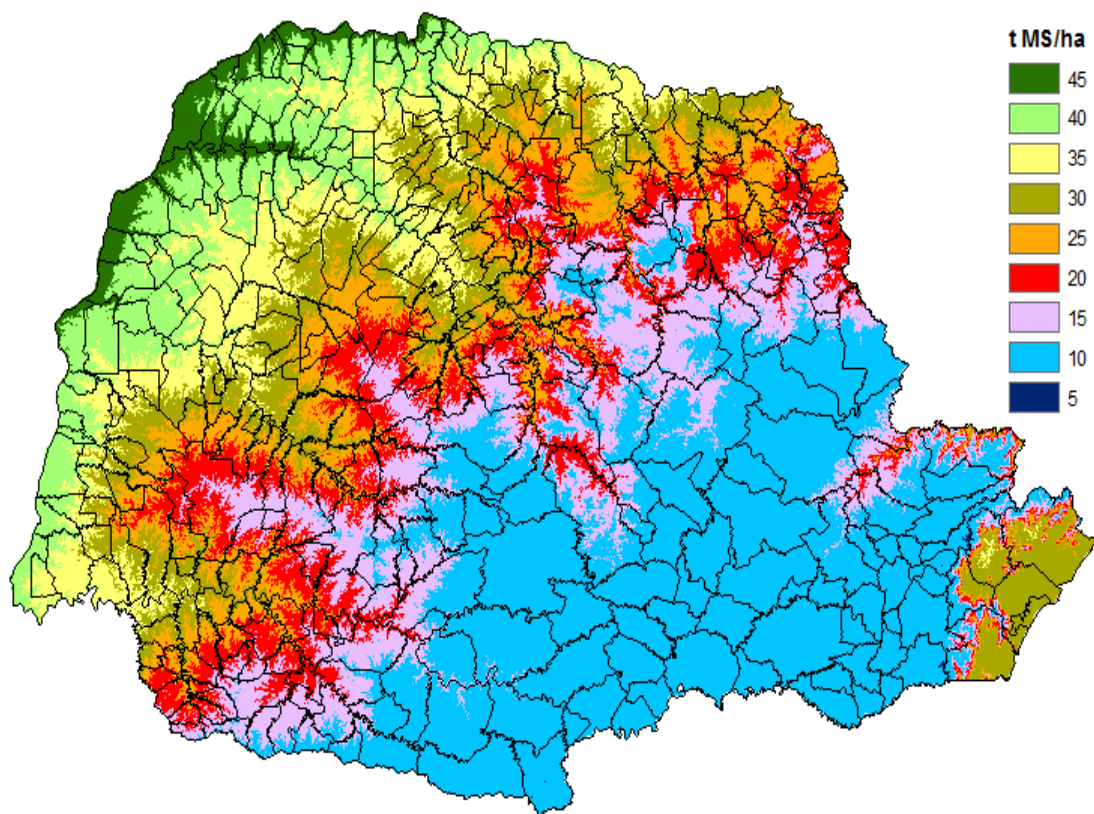


Figura 2 - Produção Anual de Capim Elefante (t de MS/ha) no Estado do Paraná.

Os valores apresentados na Tabela 1 são referentes à estimativa de potencial calorífico produzido pelo capim elefante anualmente no estado do Paraná. Os resultados obtidos indicam que existe um grande potencial para produção de energia desta fonte de biomassa no Paraná. Pode-se observar que o Paraná possui condições de produzir cerca de 450 GJ/ha ano com 45 /ha de massa seca.

Em estudos realizados por Quenó et al.(2011), trabalhando com eucaliptos em diferentes espaçamentos, com cortes semestras a partir do sexto mês, obtiveram 448,52 GJ/ha.ano com 24/t ha.ano de biomassa, 422,40 GJ/ha.ano com 22/t ha.ano e 384,70 GJ/ha.ano com 20/t ha.ano. Muller (2005), trabalhando com madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulinsis* com diferentes espaçamentos, com cortes a partir do 6 mês até 24 meses, observou um valor de 189,089,23 Kcal/ha com o menor espaçamento (3,0 x 0,5) e 92.747,024 kcal/ha com o maior de (3,0x 3,0).

Tabela 1 - Poder calorífico do capim elefante referente a produção de massa seca (MS).

TonMS/ha	Kcal/ha	GJ
5	12,000,000	50,232
10	24,000,000	100,464
15	36,000,000	150,696
20	48,000,000	200,928
25	60,000,000	251,160
30	72,000,000	301,392
35	84,000,000	351,624
40	96,000,000	401,856
45	108,000,000	452,008

5.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que o capim elefante tem grande potencial de produção de energia no estado do Paraná, com destaque para as regiões norte e oeste. A análise de previsão de potencialidade de energia em função da matéria seca produzida anualmente, mostra que o capim é uma boa alternativa de fonte renovável de energia, com produção equivalente à madeira comumente utilizada para o uso energético.

REFERÊNCIAS

BODDY, R. M. ET AL. NITROGEN CYCLING IN BRACHIARIA PASTURE: THE KEY TO UNDERSTANDING THE PROCESS OF PASTURE DECLINE? **AGRICULTURE ECOSYSTEM ENVIRONMENT**, v. 103, p.389-403, 2004

CANTO, M.W; JOBIM, C.C.; PAGLIARINI, M.S.; PANCERA JÚNIOR, E.J.; BARTH NETO, A.; INTROVINI, E.P.; ZANFOLIN, P.R.L.; FERREIRA, C.W.; MATIVI, T.M.; ALMEIDA, G. M., VIZZOTTO, B. A PECUÁRIA DE CORTE NO PARANÁ - DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E O PAPEL DAS PASTAGENS. **SCIENTIA AGRARIA PARANAENSIS**, v.9, p.5-21, 2010.

CARAMORI, P H, CAVIGLIONE, J. H., WREGGE, M. S., GONÇALVES, S. L., ANDROCIOLI FILHO, A., SERA, T., CHAVES, J. C. D., KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica L.*) no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.486 - 494, 2001.

MACHADO, A.N.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JR., P. et al. Efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem de capim-elefante cv. Três Rios. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.1, p.57-62, 1996.

MACOON, B.; SOLLENBERGER, L. E.; MOORE, J. E. Forages and pasture management – Defoliation effects on persistence and productivity of four pennisetum spp. Genotypes, **Agronomy Journal**, v. 94, May/June, 2002.

MULLER, M. D. **PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA NUMA PLANTAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO EM ITAMARANDIBA, MG**. 2005. Tese (Ciências Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

QUENÓ, L. M.; SOUZA, A. N.; ANGELO, H.; TEIXERA DO VALE, A.; MARTINS, I. S. CUSTO DA PRODUÇÃO DAS BIOMASSAS DE EUCALIPTO E CAPIM-ELEFANTE PARA ENERGIA. **Cerne, Lavras**, v. 17, n. 3.p. 417-426, jul./set.2011.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HOLEM, C. The potential of C4 perennial grasses for deseloping a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences** .v. 24, p. 1- 35, 2005.

SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. Olivares. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3. 2003, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200000200022&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 04 Mar. 2014.

SMEETS, E. M. W.; FAAIJ, A. P. C. The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production: applied for case studies in Brazil and Ukraine. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 27, p. 247-251, 2009.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA**. Versão Digital 2, Recife, Março. 2006. Disponível em <http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em: 10 Fev.2014.

VILLA NOVA, N. A.; BARIONI, L. G.; PEDREIRA, C. G.; PEREIRA, A. R. Modelo para previsão de produtividade do capim elefante cv. Napier em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.

VILLA NOVA, N. A; Tonato, F; Pedreira, C.G.S. et al. Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.37, n.2., 2007.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Neste estudo analisou-se a produção de biomassa de capim elefante e leucena no Paraná. Não se verificou vantagens no consórcio capim elefante+leucena no período inicial analisado, devido ao baixo crescimento inicial da leucena. Análises bromatológicas indicam que o capim elefante e a leucena possuem quantidades de fibras que favorecem o seu uso como fonte alternativa de energia. A avaliação de potencial calorífico indica que tanto o capim elefante como leucena apresentam bom poder calorífico e são boas alternativas como fonte de energia. Um modelo agrometeorológico de previsão de produtividade indicou que o estado do Paraná possui clima favorável para a produção de biomassa anual de capim elefante, e, portanto, grande potencial de produção de energia renovável desta matéria prima.

Recomenda-se avaliar a leucena por um período mais prolongado até que o crescimento se estabilize, devido ao crescimento inicial mais lento desta espécie.