

Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia

Martha A. Brand; Luciane C. de Oliveira; Sabrina A. Martins; Stephenson R. Lacerda; Levi Souto Junior

Resumo – O incentivo para o incremento do uso de fontes renováveis na matriz energética brasileira vem promovendo o estudo da potencialidade e viabilidade do uso de biomassa florestal, entre outras fontes. A partir da experiência da equipe de pesquisa no uso de biomassa de florestas plantadas, iniciaram-se estudos para verificar a viabilidade de uso de biomassa de sistemas nativos, que já vem sendo utilizados historicamente para a geração de energia, porém sem acompanhamento técnico e científico para promover a otimização do uso da matéria-prima e controle dos impactos ambientais. Os resultados indicam que é possível utilizar a biomassa da caatinga arbóreo-arbustiva nordestina do Brasil para geração de energia, promovendo mínimo impacto ambiental, evitando a conversão do solo para sistemas agrícolas de maior impacto, gerando emprego, mantendo a população local no campo e disponibilizando energia elétrica em locais onde existe carência deste recurso para o desenvolvimento sócio econômico regional.

Palavras-chave – Caatinga, Energia elétrica, Piauí.

I. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação mundial com a escassez dos recursos renováveis, devido a sua utilização não sustentada, aliada à necessidade de desenvolvimento do uso de combustíveis menos agressivos ambientalmente e que sejam também renováveis coloca a utilização da biomassa no foco da pesquisa mundial.

Dentro deste contexto, a biomassa tem as mais variadas fontes possíveis, desde a agricultura, florestas, indústrias e até resíduos urbanos e animais. No entanto, considerando que as florestas, tanto nativas como implantadas, apresentam

grande diversidade de oferecimento de produtos e que nos sistemas de exploração grande parte da biomassa não é utilizada, considerando os resíduos florestais, a potencialidade e a conversão destes em energia excedem os usos originais prospectados.

Além disso, o uso da madeira e seus derivados para a geração de energia é a fonte combustível mais antiga conhecida pelo homem, da qual se tem relativo domínio tecnológico e que apresenta a maior plasticidade de uso, pois deste recurso podem-se obter combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Considerando o fato de ser renovável e ter balanço neutro entre a emissão e captura de poluentes atmosféricos, principalmente o CO₂, esta fonte energética torna-se estratégica, principalmente em países como o Brasil, onde o crescimento das florestas é superior a qualquer outra parte do mundo.

Apesar destas vantagens comparativas, a pesquisa do uso energético da biomassa florestal no Brasil é ainda recente, não excedendo 30 anos. E mesmo dentro das pesquisas realizadas são mais frequentes as feitas em povoamentos implantados, que tem uso exclusivo para a geração de energia, denominadas florestas energéticas. Mais recentemente, os estudos estão sendo também realizados em povoamentos com usos múltiplos, onde se têm iniciado ações para a inclusão da energia como um dos destinos das florestas. Isso não significa que estudos em florestas nativas não tenham sido feitos, visando a utilização da biomassa na geração de energia. No entanto, como o conceito de sustentabilidade florestal é também recente, muitos destes estudos não contemplam a visão de manutenção desta floresta para uso por gerações futuras, com a mesma potencialidade explorada pela geração atual.

Considerando este fator, o estudo de florestas nativas, visando o uso de seus componentes vegetais, para a geração de energia, empregando princípios de sustentabilidade e manutenção produtiva da floresta, é inovador. Dessa forma torna-se fundamental um estudo desta natureza, sugerindo metodologias que possam ser aplicadas a outros ecossistemas florestais, tanto no Brasil, como em outras partes do mundo.

Neste sentido que, a partir do conhecimento de estudos preliminares de um plano de manejo florestal realizado em uma área de caatinga arbórea no Estado do Piauí, surgiu a idéia da realização de uma pesquisa que identificasse a potencialidade de uso da biomassa oriunda de um sistema

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

Agradecimentos: Projeto Energia Verde - Condomínio Fazenda Chapada do Gurguéia - JB Carbon S.A.; Engenheiro Florestal Ricardo Carneiro Barreto Campello e equipe técnica responsável pelo projeto de Plano de Manejo sustentável do projeto.

M. A. Brand; L. C. de Oliveira; S. A. Martins trabalham na Universidade do Planalto Catarinense - UNIPLAC (e-mails: martha@uniplac.net; lucianecosta@uniplac.net; sabrinaa@uniplac.net).

S. R Lacerda trabalha na Mata Branca Gestão e Consultoria Ltda (e-mail: tessonpb@yahoo.com.br).

L. S Junior trabalha na Tractebel Energia S.A. (e-mail: Levi@tractebelenergia.com.br)

florestal nativo para a geração de energia limpa. A área em questão apresenta grandes oportunidades para o desenvolvimento econômico da região onde está inserida. Por isso, tornou-se uma fronteira de expansão agropecuária do país.

Essa expansão vem alterando e mudando significativamente as formas de uso e de ocupação do solo. Novos empreendimentos têm sido introduzidos de forma convencional, removendo em definitivo a vegetação nativa da Caatinga e introduzindo culturas como soja, arroz, milho, algodão ou promovendo a formação de pastagens. A cada momento, se reduz a cobertura verde natural.

Assim, o uso alternativo do solo, sem a implantação concomitante de planos de manejo florestal que garantam a manutenção da cobertura vegetal nativa pode levar ao colapso ambiental do ecossistema existente. Além das vantagens sócio-ambientais, projetos de uso sustentável são fundamentais para regiões como o Nordeste.

Dos 114 mil hectares da área total do projeto no qual esta pesquisa está pautada, 80 mil hectares seriam convertidos para plantação de soja, milho e arroz. Por influência direta dos organismos ambientais federais, o projeto passou a ter um *status* diferenciado - de manejo florestal sustentável da vegetação da Caatinga. A partir daí foram realizados os estudos para a confecção do plano de manejo florestal, iniciando com o levantamento dos dados dendrométricos e fitossociológicos *in loco*.

A vegetação do estudo em questão, segundo a Classificação do Projeto RADAM, encarregado de equacionar e mapear a vegetação amazônica e parte da nordestina segue uma escola fitogeográfica baseada em Elleberg e Mueller-Dombois [1]. Ao longo de dez anos, as várias tentativas de classificação da vegetação brasileira sofreram alterações que culminaram com a apresentação da "Classificação fisionômica-ecológica das formações neotropicais" (Veloso e Góes-Filho, 1982), por Veloso *et alii* (1991) [1]. Nesta classificação, **a de número 02 é denominada de Região ecológica da Estepe (caatinga e campanha Gaúcha)**, que têm como subclassificações as formações: arbórea densa, arbórea aberta, parque e gramíneo-lenhosa [1].

Preliminarmente já se estabeleceu no Plano de Manejo já realizado, que seriam manejados 78 mil hectares em ciclos de apenas 6 mil hectares por ano, onde o primeiro lote só será novamente manejado depois de 13 anos. Esse ciclo permite a regeneração natural de 100% da Caatinga, por tocos, sementes ou raízes.

Portanto, partindo-se de alguns dados oriundos de pesquisas anteriores, dos dados obtidos para aferição dos trabalhos anteriores, da experiência dos pesquisadores envolvidos na proposta e da análise econômica do projeto para a apresentação da proposta de pesquisa, pode-se propor que a implantação de uma usina é viável economicamente. No entanto, a avaliação detalhada e precisa, necessita da confirmação de valores confiáveis, quantitativos e qualitativos da biomassa disponível, através do manejo sustentável da floresta, para a produção de energia elétrica. Além disso, os resultados obtidos em um estudo desta

natureza são determinantes para a escolha dos equipamentos (projeto técnico) e para a decisão de investimento.

Com os resultados obtidos espera-se desenvolver uma metodologia que se constituirá em um exemplo único no Brasil, no sentido da otimização dos sistemas de manejo sustentável. Além disso, se converterá em exemplo para outros países com sistemas similares ou até com maior fragilidade ecológica. Esta iniciativa contribuirá de forma determinante para a implementação e sucesso de alternativas para os mecanismos de desenvolvimento limpo, em função dos sistemas de geração que serão analisados para o uso desta biomassa.

A escolha do ecossistema em questão, para a realização do estudo, vem de encontro ao suprimento de energia elétrica para uma das regiões mais carentes em energia no país, o nordeste. Assim, estudos desta natureza podem promover o desenvolvimento social e econômico de regiões carentes, sem comprometer o equilíbrio ambiental da região, tanto em termos de flora como de fauna.

Além disso, na região selecionada para o estudo já houve iniciativas para a exploração sustentada do carvão vegetal, o que gerou grandes discussões sobre a manutenção do ecossistema florestal. No entanto, muitas das argumentações contrárias ao uso de sistemas nativos não são embasadas em informações científicas, oriundas de trabalhos exaustivos de quantificação e qualificação da biomassa produzida pela floresta, bem como sobre a caracterização e classificação correta do sistema florestal. Assim, estudos desta natureza trarão luz às discussões e determinarão de forma conclusiva a viabilidade de uso de sistemas nativos sob regime sustentável, para o uso na geração de energia.

Os resultados obtidos aqui fazem parte do projeto de pesquisa intitulado "Análise da potencialidade de uso de biomassa oriunda de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia" (ANEEL 0403-001/2007), ciclo 2006-2007, que tem como entidade executora a Universidade do Planalto Catarinense e como proponente e financiadora a empresa Tractebel Energia S.A.

Os objetivos deste trabalho foram, quantificar e qualificar a biomassa florestal produzida em um sistema florestal nativo sob manejo sustentável; aferir o Plano de Manejo realizado em 2006; determinar a quantidade e sortimento da biomassa que pode ser retirada da floresta sem comprometer a ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade do sistema florestal.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em vegetação de caatinga arbórea. O empreendimento possui área com abrangência em quatro municípios da região sul do Piauí, com predominância no município de Redenção do Gurguéia.

A vegetação existente dentro do empreendimento pode ser denominada fitogeograficamente como Caatinga [4]. A vegetação sob análise é formada por indivíduos arbóreos em maioria, de porte baixo a médio (altura média das árvores de

5 m)¹, com menor intensidade de vegetação herbácea em relação às arbustivas, podendo ser enquadrada dentro da formação arbórea densa (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Aspecto geral da vegetação de Caatinga da área estudada.

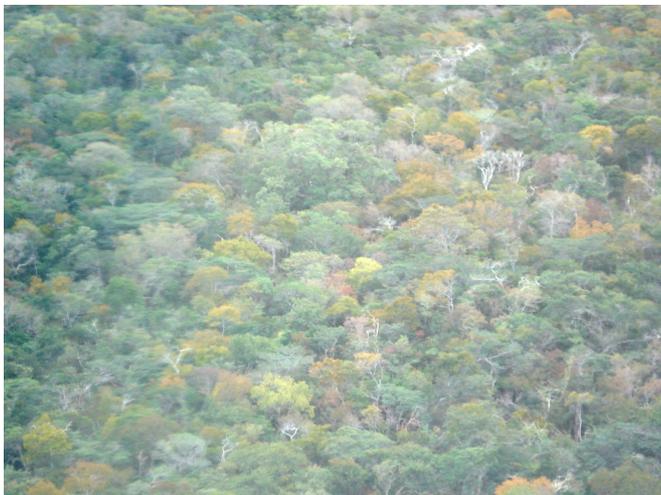


Figura 2. Vista aérea da vegetação de caatinga arbórea arbustiva analisada no estudo.

O inventário florestal para a determinação do volume e peso da biomassa foi realizado através de amostragem aleatória, devido à alta uniformidade da vegetação. Neste método, amostras são demarcadas no mapa ou em campo de forma aleatória, sem nenhuma tendência ou escolha prévia de alguma categoria de solo, vegetação ou outra característica que possa influenciar ou estratificar os dados.

Este método atende a proposta PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/007 para o semi-árido e foi

aplicado na elaboração do plano de manejo sustentável da área [2], na aferição e aprovação do projeto pelo IBAMA entre 2005 e 2006 [3], e neste trabalho.

O levantamento de campo consistiu em demarcar duas parcelas de 20 m x 20 m, na forma quadrada, a uma distância mínima de 50 metros da estrada, para evitar a influência de bordadura² [5] e mais 16 parcelas ao lado das parcelas feitas para a elaboração do plano de manejo [6]. Após a demarcação das parcelas foi medido o diâmetro de todas as árvores com a suta diamétrica, na base (30 cm do solo) e a altura do peito (1,30 m) visando incluir as árvores com diâmetro superior a 2 cm. A medição na base deveu-se ao fato de a vegetação possuir alta ramificação, tortuosidade e rebrotes basais. Todo esse material deveria ser contemplado na avaliação para diminuir o erro na avaliação final. A altura dos indivíduos foi obtida com o uso do clinômetro ou nível de Abney. Foram necessárias a limpeza da área para leitura da altura e posterior derrubada das árvores. O traçamento da madeira ocorreu no próprio local da avaliação e a madeira foi processada com comprimento médio de 1 m para posterior pesagem e montagem da pilha para medição do metro estéreo [5].

Tanto nos trabalhos feitos em outubro [5] como em janeiro [6] foi realizada a pesagem da lenha com balança de campo com precisão de 0,5 kg (Figura 3). Toda a lenha produzida na parcela foi pesada. Após a coleta da lenha de maior dimensão, foi refeita uma verificação na parcela para o aproveitamento máximo da biomassa (Figura 4). No levantamento de outubro [5] foi deixado no campo somente o que atualmente não se classifica para a produção de carvão, enquanto em janeiro de 2008 [6] foi realizado um aproveitamento ainda maior, utilizando-se todos os galhos com diâmetro superior a 2 cm de diâmetro, deixando-se no campo somente as folhas e galhos finos que caracterizam rápida incorporação no solo.

¹ Inventário realizado na área do empreendimento (2005).

² Bordadura – influência da bordadura significa que, quando uma parcela é demarcada muito próxima de uma clareira ou estrada, como a intensidade luminica é maior, a vegetação pode ter crescimento e ocorrência de espécies diferentes das usuais da vegetação que está sendo estudada.



Figura 3. Pesagem da lenha para a determinação da quantidade de massa por unidade de área.



Figura 4. Aproveitamento da biomassa após coleta da lenha de maior dimensão.

Após a pesagem de cada fardo, a lenha foi colocada em uma pilha para a determinação do metro empilhado (metro estéreo) (Figura 5). As pilhas foram medidas em seis cotas de altura e largura e duas cotas de comprimento. Com estas cotas foi calculado o metro estéreo (st), que significa o valor do metro empilhado de lenha, que tem uma relação variável com o metro cúbico. Para os cálculos efetuados no Plano de Manejo, foi utilizado o fator de conversão de 2,65 metros estéreo para cada metro cúbico.



Figura 5. Montagem da pilha para a determinação da cubagem em termos de metro estéreo.

Os parâmetros avaliados na amostra foram os mesmos avaliados no Plano de Manejo: diâmetro na base (DNB) a 0,30 m da superfície do solo, diâmetro a altura do peito (DAP) a 1,30 m da superfície e altura total (h). Assim como realizado no projeto, todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) superior a 2 cm e que se encontravam dentro da área amostral, foram avaliados. Os dados gerados na aferição não foram processados pelo software INFL (como no projeto de manejo) e sim pelas fórmulas matemáticas normalmente usadas para cálculos de área basal (1), altura (2) e volume (3).

$$g = \pi \cdot DAP^2 / 4$$

(1)

Onde: g é a área basal da árvore e DAP é a altura a 1,30 m da base do solo.

$$h = L \cdot (\operatorname{tg} \sigma_1 + \operatorname{tg} \sigma_2)$$

(2)

Onde: h é a altura da árvore, L é a distância entre o operador e a árvore; $\operatorname{tg} \sigma_1$ é a tangente do ângulo de visada da base da árvore; $\operatorname{tg} \sigma_2$ é a tangente do ângulo de visada do ápice da árvore.

$$v = g \cdot h \cdot Ff$$

(3)

Onde v é o volume da árvore; g é a área basal; h é a altura da árvore e Ff é o fator de forma da espécie.

Para a realização das análises energéticas da biomassa, as coletas da biomassa recém geradas foram realizadas em três épocas do ano distintas, que coincidiram com condições climáticas variadas. Foram avaliados discos das toras e galhos de diversos diâmetros para a obtenção de médias mais aproximadas dos valores reais que serão observados, bem como de todas as espécies que ocorrem no sistema florestal avaliado. Os discos das toras e galhos foram retirados logo após a derrubada das árvores, marcados de acordo com as espécies a que pertenciam, armazenados em sacos plásticos e enviados diretamente para o laboratório. As análises realizadas foram: teor de umidade, poder calorífico e teor de cinzas, obedecendo as Normas da ABNT e DIN para a realização dos ensaios experimentais.

Resultados

Quanto aos resultados obtidos no inventário florestal, os mesmos são apresentados na Tabela I.

Tabela I. Dados comparativos entre o inventário realizado para a implantação do plano de manejo e o inventário do projeto de pesquisa para quantificação de biomassa para geração de energia.

Variáveis analisadas	Parcela 19 Plano de manejo	Parcela 20 Plano de manejo	Parcela de Aferição Projeto 001- 2007 (out 2007)
Nº árvores/ parcela	222	164	184
Nº árv./ha	5550	4100	4600
Altura média (m)	5,3	6,2	5,63
Volume m ³ /amostra	6,18	8,79	7,48
Volume m ³ /ha	154,5	219,75	187
Volume st/amostra	16,38	23,29	14,54
Volume st/ha	409,43	582,34	363,44

Fonte: [5]

O primeiro trabalho de aferição da produção de biomassa por unidade de área foi realizado em 2007 [5], e posteriormente foi complementado e aprofundado em 2008 [6]. As diferenças em termos de aumento de produção de biomassa foram em função da otimização na coleta da biomassa nas parcelas, através do melhor aproveitamento dos galhos que antes ficavam no campo, inclusive contribuindo para a ocorrência de incêndios (Tabelas II e III e Figura 6).

Com relação à determinação da massa por unidade de produção, as análises de aferição demonstraram que os valores obtidos na pesagem de campo, feita exatamente igual ao procedimento anteriormente realizado, quando da confecção do plano de manejo, foram similares, com valores variando entre 0,64% a 20% em relação aos valores das amostras de comparação.

A produção média de biomassa, considerando todas as parcelas avaliadas, foi de 6.800 kg de biomassa por parcela, o que equivale a 170 toneladas/ha (1.020.000 toneladas/ano para uma área média de exploração de 6.000 ha). Na Tabela III pode-se perceber que alguns valores são muito discrepantes em relação à média, com variação superior a 20%, que se excluídos e realizada nova média, seria obtido o valor em torno de 6.809 kg/parcela, resultando na mesma quantidade de massa por hectare.

Conservando uma variação de 20% em relação à média, e excluindo os valores mais elevados de produção pode-se ter, considerando os menores valores de produção, uma produção média de 5.450 kg/parcela, equivalente a 136 t/ha (817.500 t/ano). No caso oposto, excluindo-se os valores mais baixos de produção, seria possível obter uma produção média de 7.472 kg/parcela, equivalendo a 187 t/ha

(1.120.731 t/ano).

No entanto a repetibilidade dos valores médios indicam que o valor médio obtido representa a produção geral da área.

Tabela II. Dados comparativos das amostras de aferição da produção de massa por unidade de área com suas respectivas áreas vizinhas (UPA 01 – próximo da parcela 26 e UPA 02 – entre parcela 19 e 20).

Parcela	Peso verde kg/amostra	Peso verde kg/ha	Peso verde t/ha
Parcela de aferição 1	5.604,70	140.118,00	140,12
Parcela 19 Plano de manejo	4.507,00	112.675,00	112,67
Parcela 20 Plano de manejo	5.423,00	135.575,00	135,57
Parcela de aferição 2	4.352,00	108.800,00	108,8
Parcela 26 Plano de manejo	3.444,00	86.100,00	86,1
Parcela 10 Plano de manejo	4324	108.100,00	108,1

Fonte: [5]

Tabela III. Quantidade de biomassa produzida por unidade de área na área total do projeto.

Upa ^a	Peso verde Projeto de pesquisa (kg/unidade amostral)	Peso verde Plano manejo (kg/unidade amostral)	Média / Upa (kg/Upa)	Média / Upa (t/ha)
6	6.150	-	6.265	157
6	6.380	3.435		
2	6.210	3.398	6.300	158
2	6.390	5.229		
9	4.370	3.874	4.165	104
9	3.960	3.444		
1	6.850	4.324	6.850	171
4	6.760	-	6.760	169
5	8.430	-	7.097	177
5	7.630	-		
5	5.230	-		
8	7.190	-	7.190	180
7	7.720	4.507	8.307	208
7	8.380	5.423		
7	8.820	4.446		
13	10.220	5.029	10.220	256
11	4.910	3.898	4.910	123
Total	6.800	4.241		170

A UPA – Unidade de produção de biomassa florestal.

Fonte: [6]

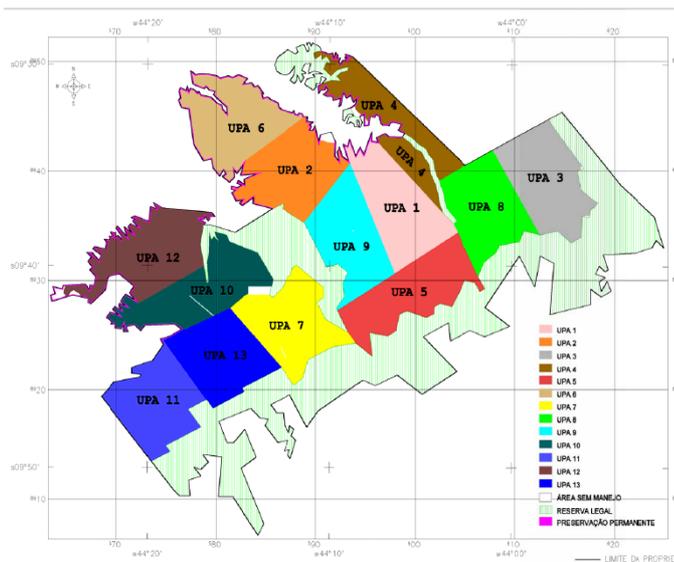


Figura 6. Representação das parcelas em relação às UPAS (unidade de produção), em relação à Tabela III. Fonte: [2]

A diferença entre as parcelas do plano de manejo e as parcelas do projeto de pesquisa, representando aumento da quantidade de biomassa, foi devido à inclusão dos galhos grossos e finos, que anteriormente não eram incluídos na quantificação da biomassa destinada para a produção do carvão. As parcelas do projeto de pesquisa foram alocadas próximas às parcelas originais utilizadas para a elaboração do plano de manejo para possibilitar a comparação dos resultados. Portanto, a expectativa de que a quantidade de biomassa obtida neste estudo fosse maior que na medição feita na elaboração do plano de manejo se confirmou.

Isso porque o aproveitamento feito na quantificação de biomassa para a geração de energia elétrica foi maior que o realizado para a obtenção de madeira para a produção de carvão.

Constatou-se nos levantamentos feitos entre maio de 2007 a janeiro de 2008, que o manejo, a coleta, o traçamento e a conversão da biomassa em cavacos devem ser tratados de forma diferenciada nas épocas de seca e chuva (Figuras 7 e 8). Na época de seca, a pouca existência de folhas facilita a coleta e traçamento dos galhos grossos e finos, enquanto na época de chuvas, a coleta e traçamento é dificultada pela presença de folhas. Estas por sua vez não devem ser retiradas do campo, pois se constituem em reserva nutricional que participam da ciclagem de nutrientes. Assim, na época de chuvas os galhos deverão permanecer no campo por determinado tempo até que as folhas sequem e caiam antes destes serem convertidos em cavacos.

As toras poderão ser transportadas para a estocagem em estaleiros de campo ou na planta, e após atingirem o teor de umidade desejado passam para a conversão em cavacos próximo ou dentro da planta, em picadores de maior capacidade. Isso possibilitará o uso eficiente da estocagem como ferramenta para a diminuição do teor de umidade e consequentemente o aumento do poder calorífico líquido.

Em contrapartida, os galhos se convertidos em cavacos logo após o seu corte, na época de seca, que talvez seja o

mais viável para evitar incêndios (Figura 9 e 10) e sua proliferação, terão maior teor de umidade, o que diminui seu poder calorífico. Assim, deve-se prever a necessidade de mistura (blendagem) dos diferentes materiais para o maior ganho energético na planta.

Na época de chuvas, como a estocagem dos galhos no campo é vital para a perda das folhas, o teor de umidade da madeira também será reduzido, minimizando a diferença entre galhos e toras estocadas.



Figura 7. Biomassa de menor dimensão não aproveitada após corte em manejo sustentado para carvão (outubro 2007-época de seca). Fonte: [6]



Figura 8. Biomassa remanescente no solo após aproveitamento em manejo para geração de energia elétrica (janeiro 2008-época de chuva). Fonte: [6]



Figura 9. Parcela de acompanhamento de regeneração natural (corte abril/2005), antes do incêndio – junho de 2007.
Fonte: [5]



Figura 9. Parcela de acompanhamento de regeneração natural (corte abril/2005), após o incêndio – outubro de 2007.
Fonte: [5]

Quanto à qualidade energética da biomassa avaliada, os resultados são apresentados na Tabela IV.

Tabela IV. Comparação das propriedades físicas e energéticas da biomassa recém colhida (úmida ou verde), em diferentes épocas do ano.

Variável	Maió 2007	Outubro 2007	Janeiro 2008
Teor de umidade na base úmida (%)	29	27	39
Teor de cinzas (%)	1,44	1,67	1,45
Poder calorífico superior (kcal/kg)	4705	4788	4700
*Poder calorífico líquido (kcal/kg)	3036	3195	2400
Densidade básica (kg/m ³)	712	718	Não realizado

a. Maio – final da época de chuva; Outubro – final da época de seca; Janeiro – época de chuva.

Fonte: [7]

***Poder calorífico líquido** representa a energia efetivamente disponível para o sistema de geração de energia em combustíveis que possuem água livre, além da água de constituição

A biomassa analisada em três épocas do ano bem características da região demonstrou que a qualidade variou pouco ao longo do ano, mantendo-se um teor de umidade baixo, abaixo ou próximo do limite mínimo ideal para a geração de energia, que é conseguido para *Eucalyptus*, por exemplo, somente após 2 meses de estocagem em outras regiões do Brasil.

O poder calorífico líquido, que é a energia efetivamente utilizada no sistema, e que depende do teor de umidade, é baixo, podendo aumentar em função do tipo de manejo adotado durante a colheita, transporte e manuseio da biomassa entre a floresta e o sistema de geração de energia.

A massa específica da madeira também é adequada à geração de energia, sendo considerada de média a alta, representando que existe em torno de 70% de massa seca no volume total utilizado para a geração de energia.

III. CONCLUSÕES

A. Quanto ao inventário florestal e a quantificação de biomassa florestal para a geração de energia

O inventário de aferição confirmou os dados do plano de manejo previamente realizado e também aferido e aprovado pelo IBAMA.

A quantidade de biomassa medida no inventário, contido no plano de manejo, representa a **quantidade real de biomassa** com potencial de exploração.

O potencial médio de biomassa do empreendimento é de 106 t/ha, comprovado pela aferição de campo, tendo produção variada em função da UPA que está em produção, sendo que a produção pode variar de 81 a 150 t/ha.

Porém, com a inclusão dos galhos na coleta da biomassa, o valor potencial médios de produção de biomassa passa a ser de **170 toneladas de biomassa verde/hectare**, o que resultaria na produção média de **1.020.000 toneladas/ano para uma área de exploração de 6.000 ha**.

Deve-se trabalhar junto ao IBAMA para que as liberações futuras sejam em termos de massa por hectare (t/ha) e não metro estéreo, pois esta última unidade tem pouca precisão e não se aplica ao modelo de geração de energia elétrica a partir de biomassa.

Deve-se trabalhar com a perspectiva de potencialidade de produção de cada Unidade de Produção (UPA), pois existe diferença de potencial entre elas como se pode observar nos resultados apresentados.

Existe potencial no material que fica no campo após a retirada da lenha, mas o manejo na época de chuva e seca devem ser diferenciados, para evitar a exportação de nutrientes (época de chuva) e incêndios (época de seca).

O potencial de material que fica sobre o solo deve ser mensurado, mas já com os equipamentos que serão utilizados para a exploração, para o dimensionamento adequado da potencialidade, considerando a forma adequada de tratamento do material.

B. Quanto às propriedades energéticas da biomassa florestal

As primeiras duas análises realizadas indicaram pequena

variação durante a maior parte do ano. O maior teor de umidade foi observado somente na época em que ocorre a maior incidência de chuvas na região. Porém, mesmo assim, considerando somente a amostra que indica o valor de umidade mais próximo do real (39%) e comparando-se este a outros tipos de biomassa, o teor de umidade está próximo ao valor mínimo requerido para a biomassa para a geração de energia (valores próximos ou inferiores a 30% de umidade na base úmida).

Este parâmetro pode ser melhorado, no entanto, com o tratamento da biomassa antes da sua entrada no sistema de geração de energia, através de sistemas de estocagem ou secagem forçada.

Para o material analisado e considerando o clima da região de estudo, deve-se considerar a hipótese de necessidade de manejo diferenciado, entre as estações de chuva e seca.

C. Análise da viabilidade econômica do projeto

Baseado nos resultados preliminares do projeto foi possível realizar o estudo de viabilidade econômica do projeto. Para tanto, foi considerada a instalação de 2 unidades geradoras de 50 MW cada; Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (TEIF) e Indisponibilidade Programada (IP) de 8,0%; Consumo interno: 10% = 9 MWh; Consumo de biomassa: 95 t/h (765.700 t/ano); Investimento total para a construção: R\$ 265.620.000 (O&M - 10.000/ano); que a energia elétrica (91MW médio líquido) pode ser vendida nos leilões de energia realizados pela Aneel no ACR (Ambiente de Contratação Regulado) a um preço de 135 R\$/MWh, tem-se como resultado a modelagem econômica: TMA - taxa mínima de atratividade: 10,2 % e TIR - taxa interna de retorno: 13,5 %; de que a biomassa terá poder calorífico líquido de 3100 kcal/kg, de que a disponibilidade poderá atingir até 1.000.000 t/ano e que o preço a ser pago será em torno de R\$ 50,00/t, pode-se considerar que a área a ser estudada tem potencialidade para a implantação de uma planta de geração de 100 MW.

O presente trabalho atingiu os objetivos propostos para a pesquisa realizada. Quantificou e qualificou a biomassa da caatinga arbórea para fins de geração de energia e aferiu os resultados com o Plano de Manejo pré-existente da área. Dessa forma, a pesquisa torna-se uma referência dentro do setor energético brasileiro para fins de exploração sustentável de recursos florestais nativos para geração de energia elétrica.

IV. AGRADECIMENTOS

A empresa Florestar Nordeste Planejamento e Assistência Técnica Ltda; a equipe de colaboradores da empresa JB Carbon, aos bolsistas de iniciação científica do Curso de Engenharia Industrial Madeireira da UNIPLAC.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ambiente Brasil. "Classificação da vegetação brasileira". <http://www.ambientebrasil.com.br>. Capturado em junho de 2007.
- [2] E. R. Toniolo; G. L. Júnior; R. C. B. Campello, "Plano de manejo florestal integrado sustentável." Projeto Energia Verde - Condomínio Fazenda Chapada do Gurguéia - Jb Carbon S/A., Redenção do Gurguéia, Pi, Relatório técnico., Dez. 2005.
- [3] IBAMA. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. "Laudo de vistoria técnica para aprovação do Plano de Manejo.", Ofício no 103/06-DITEC/IBAMA/PI., Parecer técnico., Fev. 2006.
- [4] M. A. Brand; L. C. de Oliveira; S. Andrade; V. Righetto. "Análise da potencialidade de uso de biomassa oriunda de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia - Visita ao empreendimento Energia Verde - 28/05 a 01/06/2007", UNIPLAC, Lages, SC, Relatório Técnico Parcial, Jul. 2007.
- [5] M. A. Brand; L. C. de Oliveira; S. Andrade. "Análise da potencialidade de uso de biomassa oriunda de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia - Visita ao empreendimento energia verde - 22/10 a 01/11/2007". UNIPLAC, Lages, SC, Relatório Técnico Parcial, Dez. 2007.
- [6] M. A. Brand; L. C. de Oliveira; S. Andrade. "Análise da potencialidade de uso de biomassa oriunda de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia - Visita ao empreendimento energia verde - 20/01 a 01/02/2008". UNIPLAC, Lages, SC, Relatório Técnico Parcial, Jan. 2008.
- [7] M. A. Brand; L. C. de Oliveira; S. Andrade. "Tratamento da biomassa oriunda da Fazenda Chapada do Gurguéia para a geração de energia elétrica", UNIPLAC, Lages, SC, Relatório Técnico Parcial, Abr. 2008.