

WASHINGTON LUIZ FONSECA FARIA

**A JUREMA PRETA (*Mimosa hostilis*, Benth)
COMO FONTE ENERGÉTICA DO SEMI-ÁRIDO
DO NORDESTE-CARVÃO**

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial para a obtenção do Título de "Mestre em Ciências M.Sc." no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA
1984



PARECER

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato WASHINGTON LUIZ FONSECA FARIA, sob o título "A JUREMA PRETA COMO FONTE ENERGÉTICA DO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE - CARVÃO" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 25 de julho de 1984.

Professor Nilton Emilio Buhner, Dr.
Primeiro Examinador



Professor Ivan Tomaselli, Dr.
Segundo Examinador

Professor Amauri Simioni, Dr.
Presidente

À minha mãe,

meu pai e

meu irmão

À minha mulher Lúcia e ao meu filho Diogo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Amauri Simioni, pela orientação e sugestões durante a realização deste estudo.

Aos co-orientadores Prof. Dr. Ivan Tomaselli e Prof. Dr. Sidon Keinert Junior, pelas sugestões apresentadas quando do início do trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal da Paraíba, pela liberação para o curso de mestrado. Bem como aos funcionários do referido departamento que auxiliaram na coleta de material.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, pela concessão da bolsa de estudo.

Às funcionárias da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela importante colaboração nas consultas bibliográficas.

Aos funcionários do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

Aos amigos da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Sueo Numazawa, Paulo Luiz Contente de Barros e Juris Jankauskis.

Aos demais amigos que de uma ou outra forma contribuíram para a realização deste trabalho.

À Ines Rotta, pela confecção final do trabalho.

À minha esposa Lúcia e demais familiares, pelo carinho, compreensão e estímulo durante a realização do curso de mestrado.

BIOGRAFIA

Washington Luiz Fonseca Faria, filho de Geraldo Faria e Anery Augusto da Fonseca Faria, nasceu em Cachoeiro de Itapemirim, no dia 29 de maio de 1957.

Fez os estudos do primeiro grau (primário e ginásio) respectivamente, no "Grupo Escolar Bernardino Monteiro" e no colégio "Liceu Muniz Freire", ambos na cidade de Cachoeiro de Itapemirim - ES.

Os dois primeiros anos do segundo grau (colegial) foram realizados no colégio "Liceu Muniz Freire", na cidade de origem, e o terceiro ano no "Colégio Universitário Coluni" da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Iniciou os estudos de graduação em março de 1976, no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, vindo a receber o grau de Engenheiro Florestal em dezembro de 1979.

Foi contratado em fevereiro de 1980 como professor colaborador pela Universidade Federal da Paraíba, junto ao Departamento de Engenharia Florestal, onde atualmente exerce o cargo de professor assistente nível II.

Em março de 1982 ingressou no curso de pós-graduação em Ciência Florestal, setor de tecnologia e utilização de produtos florestais ao nível de mestrado, da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, Paraná.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	x
	LISTA DE QUADROS	xii
	RESUMO	xiv
1.	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
2.	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	3
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
2.2	MADEIRA COMO FONTE DE ENERGIA	5
2.2.1	Perspectivas da região Nordeste	6
2.3	HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL	7
2.4	CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA	9
2.4.1	Influência da temperatura final de carbonização sobre as propriedades do carvão vegetal	14
2.4.1.1	Efeito nos rendimentos em peso do carvão, líquidos e gases	14
2.4.1.2	Efeito da temperatura de carbonização nos teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas	16
2.4.1.3	Efeito da temperatura de carbonização no poder calorífico superior do carvão vegetal	18
2.4.1.4	Efeito da temperatura de carbonização no peso específico básico	20
2.4.2	Influência do tempo de permanência à temperatura final de carbonização	24

2.4.3	Efeito da taxa de aquecimento da carbonização ...	26
2.4.4	Efeito do peso específico da madeira	27
2.4.5	Efeito do teor de umidade na madeira	28
3.	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	29
3.1	JUREMA PRETA (<i>Mimosa hostilis</i> , Benth)	29
3.2	COLETA DO MATERIAL	30
3.2.1	Local de coleta	30
3.2.2	Amostragem e preparação do material	31
3.3	PESO ESPECÍFICO BÁSICO DA MADEIRA	33
3.4	PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO	34
3.4.1	Equipamento utilizado	38
3.5	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL	39
3.5.1	Rendimentos em peso na base seca	39
3.5.1.1	Rendimento em peso do carvão	40
3.5.1.2	Rendimento em peso dos gases não condensáveis ...	40
3.5.1.3	Rendimento em peso do líquido condensado	41
3.5.2	Peso específico básico do carvão	41
3.5.3	Poder calorífico superior	41
3.5.4	Análise química imediata	43
3.5.4.1	Umidade	43
3.5.4.2	Materiais voláteis	44
3.5.4.3	Cinzas	45
3.5.4.4	Carbono fixo	45
3.6	DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	46
4.	<u>RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	49
4.1	PESO ESPECÍFICO BÁSICO DA MADEIRA	49
4.2	RENDIMENTO EM PESO DE CARVÃO	49
4.3	RENDIMENTO EM PESO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS ...	54
4.4	RENDIMENTO EM PESO DE LÍQUIDO CONDENSADO.....	58

4.5	PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO	61
4.6	PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO	66
4.7	ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO	70
4.7.1	Teor de materiais voláteis	70
4.7.2	Teor de carbono fixo	74
4.7.3	Teor de cinzas	78
4.8	ESTIMATIVA DO POTENCIAL DO CARVÃO DE JUREMA PRETA (<i>Mimosa hostilis</i> , Benth) NO MUNICÍPIO DE PATOS-PB ..	81
5.	<u>CONCLUSÕES</u>	84
6.	<u>RECOMENDAÇÕES</u>	88
	SUMMARY	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	ANEXOS 1 - DIVISÃO POLÍTICA DO ESTADO DA PARAÍBA.	96
	2 - ESBÔÇO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA	98
	3 - REGIÕES BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DA PARAÍBA	100
	4 - BALANÇO HÍDRICO E REGIME PLUVIOMÉTRI- CO DO MUNICÍPIO DE PATOS-PB	102
	5 - RESULTADOS DOS RENDIMENTOS EM CARVÃO VEGETAL, LÍQUIDO CONDENSADO E GASES NÃO CONDENSADOS, EXPRESSOS NA BASE SE- CA, PARA CADA REPETIÇÃO DOS TRATAMEN- TOS	105
	6 - RESULTADOS DO PODER CALORÍFICO SUPE- RIOR DETERMINADO EM BOMBA CALORIMÉ- TRICA	108
	7 - RESULTADOS DOS VALORES DO PESO ESPE- CÍFICO BÁSICO DO CARVÃO PRODUZIDO ...	110

8 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CARVÃO (MATE-
TIAIS VOLÁTEIS, CINZAS E CARBONO FI-
XO) PARA CADA UMA DAS REPETIÇÕES 113

LISTA DE FIGURAS

1	PROJEÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DO CARVÃO VEGETAL ...	9
2	MODELO DE CARBONIZAÇÃO DE KANURY E BLACKSHEAR	10
3	VARIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO VEGETAL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO ...	19
4	VARIAÇÃO DIMENSIONAL OCORRIDA NAS ESPÉCIES COM A ELEVÇÃO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO	22
5	PERCENTUAL RELATIVO DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DA MADEIRA DE <i>Liriodendron tulipifera</i> COM A ELEVÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO	23
6	PERDA DE MASSA E TEMPO DE PERMANÊNCIA À VÁRIAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO	25
7	CORRELAÇÃO ENTRE O PESO ESPECÍFICO DA MADEIRA E DO CARVÃO PARA DIVERSAS ESPÉCIES	27
8	ESQUEMA ADOTADO NA DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÚMIDO POR PESAGEM	34
9	DESENVOLVIMENTO DAS CARBONIZAÇÕES	37
10	CROQUIS DO SISTEMA DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA	39
11	RENDIMENTO EM PESO DE CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	51
12	RENDIMENTO EM PESO DE GASES NÃO CONDENSÁVEIS, NA BASE SECA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	55

13	RENDIMENTO EM PESO DE LÍQUIDO CONDENSÁVEL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	59
14	PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	62
15	PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO VEGETAL, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	68
16	TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS NO CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	72
17	TEOR DE CARBONO FIXO NO CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	75
18	TEOR DE CINZAS NO CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	79

LISTA DE QUADROS

1	EVOLUÇÃO TEÓRICA DA DESTILAÇÃO DE MADEIRAS RESINOSAS	13
2	RENDIMENTO EM PESO DE CARVÃO, LÍQUIDO CONDENSÁVEL E GASES NÃO CONDENSÁVEIS NA BASE SECA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO	15
3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CARVÃO VEGETAL COM O AUMENTO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO	16
4	ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO NA BASE SECA EM RELAÇÃO À ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO, PARA <i>Eucalyptus grandis</i> , W.Hill COM 5,5 ANOS DE IDADE	17
5	PERDA DE MASSA E CONTRAÇÕES NA MADEIRA DE <i>Betula</i> sp. EM FUNÇÃO DA ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO	23
6	ESQUEMA DO DELINEAMENTO EM FUNÇÃO DOS FATORES TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO E TEMPOS DE PERMANÊNCIA A ESTAS TEMPERATURAS	47
7	QUADRO DA ANOVA COM AS FONTES DE VARIAÇÃO E OS GRAUS E LIBERDADE	48
8	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PERCENTAGENS DOS RENDIMENTOS EM PESO DE CARVÃO NA BASE SECA	53
9	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PERCENTAGENS DOS RENDIMENTOS EM PESO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS NA BASE	

	SECA	56
10	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PERCENTAGENS DOS RENDI- MENTOS EM PESO LÍQUIDO CONDENSADO NA BASE SECA ...	60
11	PODER CALORÍFICO PRODUZIDO NA REAÇÃO DE COMBUSTÃO DE 1 (UM) QUILOGRAMA DE CARVÃO BASEADO NO PERCEN- TUAL DE SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR RELATIVO À CARBONO E HIDROGÊNIO	64
12	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PODER CALORÍFICO SUPE- RIOR DO CARVÃO	65
13	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO NA BASE SECA	69
14	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE MATERIAIS VOLÁTEIS DO CARVÃO NA BASE SECA	73
15	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE CARBONO FI- XO NO CARVÃO VEGETAL NA BASE SECA	77
16	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE CINZAS NO CARVÃO	80
17	POTENCIAL CAPAZ DE SER PRODUZIDO ANUALMENTE PELO CARVÃO DE JUREMA PRETA (<i>Mimosa hostilis</i> , Benth) NO MUNICÍPIO DE PATOS	82

RESUMO

A situação sócio-econômica da região semi-árida do nordeste e a restrita utilização do potencial da vegetação da caatinga, devido ao pequeno porte, associado as necessidades de se buscar fontes alternativas de energia, despertou a necessidade de conhecimentos sobre a espécie Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) na produção de carvão vegetal.

A carbonização foi conduzida em retorta elétrica, escala de laboratório, variando-se as condições de carbonização. Foi utilizado as temperaturas de 400, 550 e 700°C e tempos de permanência em cada uma destas temperaturas finais de 20, 40 e 60 minutos. A taxa de aquecimento de 5°C/minuto foi constante para os tratamentos.

As avaliações das propriedades do carvão produzido foram referentes à rendimento em peso (carvão, líquido condensado e gases não condensáveis), poder calorífico superior, peso específico básico e análise química (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas).

O rendimento em peso de carvão apresentou-se elevado, quando comparado a outras espécies. A temperatura e o tempo de permanência tiveram efeito interativo, de modo que o aumento nestas variáveis resultou na diminuição do rendimento.

O peso específico básico do carvão variou em média de 0,55 à 0,67 g/cm³. O menor valor foi obtido à temperatura de 550°C

e o maior a 700°C. Os tempos de permanência à temperatura final de carbonização não tiveram participação significativa na variação do peso específico básico.

O valor do poder calorífico superior do carvão apresentou-se pouco diferenciado à outras espécies. Entre as temperaturas de 400 e 550°C, tanto a temperatura como o tempo de permanência resultou na elevação do poder calorífico. Entre 550 e 700°C, houve uma diminuição do valor, sendo verificado um valor máximo à temperatura de 550°C.

O teor de cinzas do carvão aumentou com a elevação da temperatura de carbonização, e não foi verificado efeito do tempo de permanência às temperaturas finais de carbonização.

As demais propriedades do carvão apresentaram comportamento normal. A elevação nos rendimentos em peso de líquido condensado e gases não condensáveis com o aumento da temperatura e tempos de permanência. A redução no teor de materiais voláteis e aumento no teor de carbono fixo do carvão, com a elevação da temperatura e tempos de permanência.

O potencial estimado do carvão capaz de ser produzido anualmente, de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), no município de Patos, baseado nas hipóteses de cobertura vegetal da caatinga de 20,30 e 40%, foram de 3.328 t, 4.992 t e 6.656 t. Estes totais representam respectivamente 11,42%, 17,14% e 22,85% da produção total do estado da Paraíba, segundo levantamento realizado em 1981.

1. INTRODUÇÃO

A utilização indiscriminada de combustíveis fósseis como fonte geradora de energia é basicamente proporcionada pelas suas características de qualidade, isto é, elevada concentração de calorías por unidade de peso, aliada a disponibilidade de atendimento à demanda. Contudo, um dos aspectos desfavoráveis de sua utilização, está ligado ao fato de que as maiores reservas exploráveis encontram-se concentradas em um número pequeno de países, o que conseqüentemente, ocasiona uma dependência dos demais. Com o desenvolvimento industrial elevando excessivamente o consumo deste recurso oriundo de fonte não renovável, surge a expectativa de sua exaustão. Esta expectativa conjugada com problemas políticos deu origem nos anos de 1973/74, à formação de um cartel tendo como resultado uma acentuada elevação nos preços destes recursos.

Esta situação provocou a intensificação de pesquisas para buscar fontes energéticas alternativas que pudessem substituir no todo ou em parte a de origem fóssil. Para se evitar o surgimento de crises futuras, tais fontes energéticas teriam de oferecer garantia de abastecimento e serem preferencialmente oriundas de recursos renováveis, além de possuírem competitividade no que se refere a custos. Neste enfoque, uma das formas viáveis, seria a utilização de recursos naturais renováveis.

Dentro da problemática energética, na tentativa de buscar novas fontes alternativas, o Brasil destaca-se por possuir fontes energéticas ainda não totalmente exploradas, tais como os recursos florestais, que podem amenizar as necessidades energéticas.

A situação regional quanto a utilização de recursos florestais como fonte energética alternativa, encontra-se mais avançada na região sul e sudeste, devido as mesmas apresentarem um programa definido de utilização. Contudo em outras regiões, como a nordeste, não possui um direcionamento, em razão de problemas sócio-econômicos relacionados aos aspectos climáticos, apesar disto, órgãos de ensino e pesquisa vem desenvolvendo estudos com a finalidade de buscar formas alternativas de utilização do potencial florestal.

Esta região, principalmente as áreas semi-áridas, apresenta um escasso potencial madeireiro de grande porte, porém possui diversas espécies nativas e exóticas com porte arbóreo-arbustivo, que se destacam com grande expectativa como matéria prima possível de ser utilizada com fins energéticos. Dentre as espécies, tem-se destacado a Jurema Preta (*Mimosa hostilis* Benth), a qual é bem conhecida e utilizada principalmente como lenha.

Objetiva-se com este trabalho um estudo do comportamento desta espécie na produção de carvão vegetal em escala de laboratório, para possíveis aplicações comerciais. Portanto, visa-se caracterizar o carvão vegetal no que se refere a rendimentos em peso (carvão, líquido e gases), peso específico básico, poder calorífico superior e análise química imediata (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas). Como complemento das informações procura-se traçar uma previsão do potencial em peso em caráter preliminar, proporcionado pelo carvão vegetal da espécie Jurema Preta (*Mimosa hostilis* Benth) para o município de Patos no estado da Paraíba.

2. REVÍSIÃO DE LITERATURA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A razão dos problemas energéticos está fundamentada na decorrência dos materiais de origem fósseis participarem com 70% do abastecimento da energia total, o que resulta na expectativa de que ocorra ainda neste século uma descontinuidade de fornecimento. Segundo previsões, as reservas de petróleo se esgotariam em um período de 40 anos se permanecer o consumo atual⁶. Outras previsões menos otimistas apontam que dentro de pouco mais de 5, até o máximo de 15 anos, a oferta de petróleo deixará de atender a demanda²⁴.

A disponibilidade de energia torna-se preocupante, pois no decorrer dos próximos 25 anos o homem poderá consumir uma quantidade de energia igual a que consumiu durante os 5 mil anos de sua existência²³.

A preocupação com o suprimento futuro de energia é evidente também no Brasil. No período de 1969/78 a produção de petróleo cresceu em 10%, enquanto que o consumo em 110%, e a razão principal desta desproporção está pautada em suas pequenas reservas, as quais representam apenas 0,15% das mundiais²⁴. Em estudos mais recentes observa-se que a projeção do aumento na produção de petróleo nacional no período de 1980/85 é de 2,48 vezes, enquanto a redução nas importações será de 0,58 vezes, permanecendo praticamente constante o consumo de um milhão de barris por dia³⁸.

Os fatos em si justificam a necessidade de desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas a fontes alternativas de energia. Cada país terá de buscar novas possibilidades através de suas próprias condições a fim de atender suas necessidades. A busca destas fontes torna-se, desta maneira, prioritária no programa de desenvolvimento de países que não possuam reservas satisfatórias de petróleo. As alternativas com melhores perspectivas nas condições brasileiras, são o carvão mineral, carvão vegetal, álcool de cana-de-açúcar, óleos vegetais, energia elétrica, solar e nuclear.

O carvão mineral possui algumas restrições devido aos problemas de poluição, exploração⁶, e pequenas reservas concentradas principalmente nos estados do sul. Contudo, espera-se um rápido desenvolvimento da indústria carbonífera, apesar do produto ser considerado de qualidade inferior²¹.

No que se refere a óleos vegetais, no "I Encontro sobre Tecnologia dos Óleos Vegetais Combustíveis" destacou-se que, apesar de promissor, se revela ainda em estágio embrionário, não permitindo o planejamento de qualquer uso generalizado deste combustível³⁵.

Uma das alternativas de destaque é a energia hidroelétrica, pois é abundante, renovável e de pouco impacto sobre o ambiente²⁴.

A energia solar, apesar de não dominada totalmente em certos setores, aparece com boas possibilidades devido às condições tropicais do Brasil. Esta forma de energia pode vir a ser utilizada principalmente na geração de eletricidade e no aquecimento industrial²⁸.

A energia nuclear, muito difundida nos dias atuais, encon-

tra-se com certas restrições para as condições brasileiras, devido ao alto investimento em tecnologia importada e condições de segurança duvidosas ao efeito poluidor²⁴.

Destaca-se ainda, o programa do álcool de cana-de-açúcar como substituto da gasolina, passando de alternativa para uma realidade nacional. Tanto assim, que a meta do modelo energético brasileiro é 10,7 bilhões de litros de álcool para o ano de 1985, o que pode vir a substituir 8,9 bilhões de litros de gasolina, significando 154.000 barris equivalente de petróleo por dia³⁸.

A importância do carvão vegetal como fonte alternativa destaca-se na utilização do mesmo em caldeiras industriais, na substituição do óleo combustível. É um produto de tecnologia dominada, pois é largamente utilizado como termo-redutor na siderurgia.

2.2 MADEIRA COMO FONTE DE ENERGIA

A importância da madeira como fonte de energia remonta à pré-história, pois sua utilização surgiu com o domínio do fogo pelo homem primitivo. Apesar de utilizado por milhares de anos, veio a sofrer nos últimos 30 anos um declínio quanto a participação como fonte de energia, mas ainda assim representa 8% da energia global estocada⁴¹.

Possui importante papel na economia mundial em razão de ser um dos mais abundantes recursos naturais renováveis. A lenha adapta-se perfeitamente às condições brasileiras por se tratar de um combustível barato, de fácil armazenamento, requerer quantidade apreciável de mão de obra e não possuir efeito competitivo quanto aos aspectos de terra para produção de alimen-

tos, quanto às exigências de solos.

O consumo "per capita" do combustível de madeira no Brasil é de 1,60 metro cúbico/ano¹⁵. Há estimativas que cerca de 120 milhões de m³ de madeira é utilizado na queima direta em forma de lenha, representando 65% da produção total de madeira do país⁹. Segundo levantamento realizado no ano de 1979, a madeira participou com 20,2% na estrutura do consumo de energia primária do ano de 1977, e segundo projeções, esta participação seria de 14,2% em 1982 e apenas de 10% no ano de 1987¹³.

As perspectivas para o retorno de uma maior participação da madeira como fonte geradora de energia é prescrita por alguns pesquisadores, pois segundo os mesmos, a cobertura de 4% da superfície brasileira com florestas forneceria a energia necessária projetada para 1986⁶. Ainda, a implantação de 12 milhões de hectares de florestas homogêneas de eucaliptos tecnicamente manejadas, poderia suprir 40% das necessidades energéticas do país previstas para 1986²⁴.

2.2.1 Perspectivas da região Nordeste

A decisão governamental de alocar parte dos incentivos fiscais para o reflorestamento na região nordeste³⁹, trouxe novas perspectivas para um maior desenvolvimento do setor florestal na região. Salienta-se, contudo, que o maior benefício é dirigido ao litoral, aos programas de fruticultura em áreas irrigáveis e parte para o estado de Minas Gerais em áreas localizadas no polígono das secas.

Para as áreas do semi-árido, o programa mais eficiente é uma exploração econômica das espécies existentes, com formações de grandes maciços florestais e aproveitamento da caatinga por

plantio e manejo sustentado³³. Este programa certamente viria proporcionar maior utilização da madeira como fonte de energia e propiciar melhores condições econômicas à população.

Esta vegetação da caatinga ainda não apresenta destaque de sua importância, porém através de pesquisas que busquem possibilidades de uso podem evidenciar e mesmo conduzir à uma maior utilização da mesma. Isto porque esta vegetação em quatro cortes de 5-6 anos pode produzir o mesmo volume de madeira fornecido pelo cerrado em dois cortes de 10 anos ou o mesmo volume de florestas nativas em cortes de 15-20 anos⁴⁴. Apesar desta vegetação estar distribuída em extratos, seu potencial lenheiro em cortes de 5-6 anos é de 96-167 st/ha no extrato arbóreo, de 46-83 st/ha no extrato arbóreo-arbustivo e de 27-38 st/ha no extrato arbustivo⁴³.

2.3 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

A técnica de carbonização da madeira é conhecida pelo homem desde a mais remota antiguidade, tanto assim, que na época das palafitas (4.000-1.800 A.C.) já se utilizavam hastes de flechas impregnadas com alcatrão de madeira¹⁹.

O carvão vegetal posteriormente foi muito utilizado pelos egípcios e persas como combustível produtor de elevadas temperaturas na fabricação de armas e moedas¹⁶. Os produtos da destilação eram utilizados para embalsamento de cadáveres pelos egípcios e para calafetar embarcações romanas¹⁹.

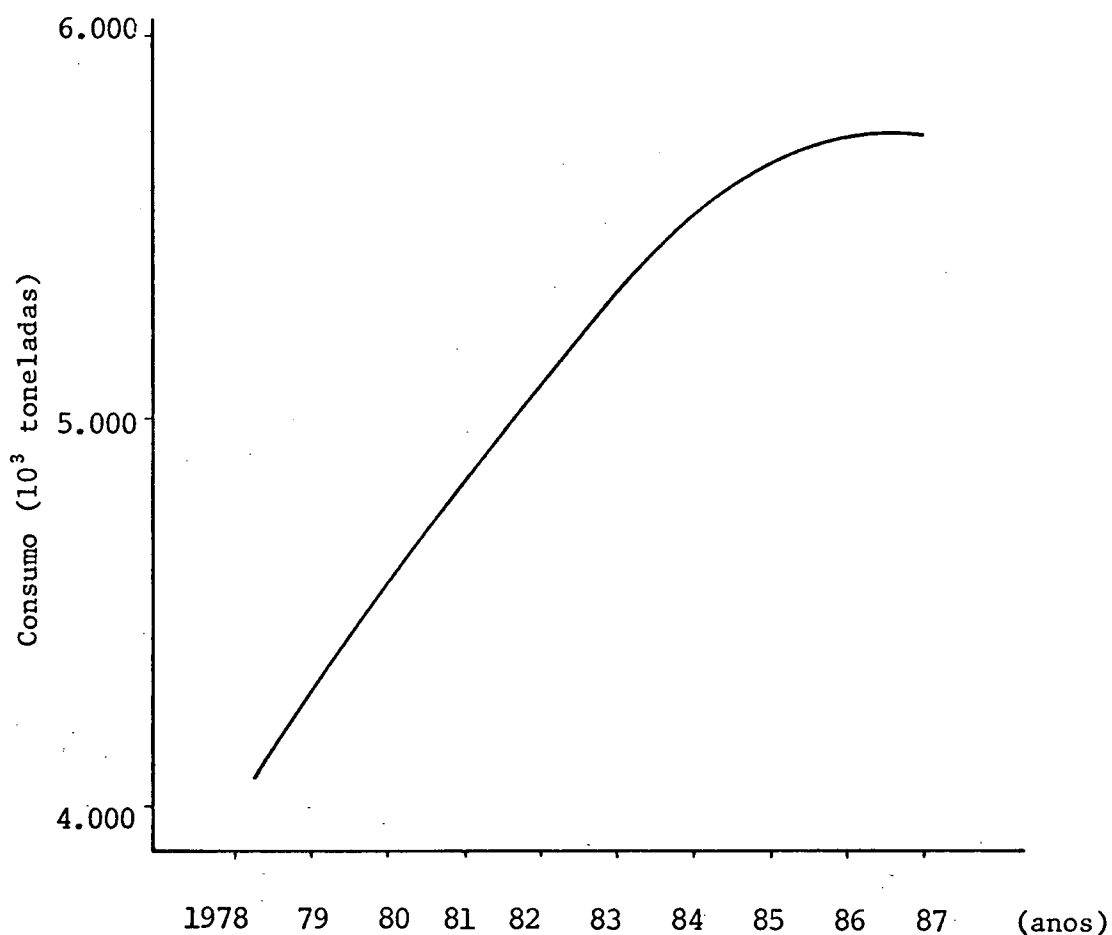
Outros povos que se destacaram na produção de carvão vegetal foram os chineses, japoneses e franceses, diferenciando-se entre si quanto aos métodos de obtenção, pois utilizavam respectivamente fossas, galerias e medas suspensas¹⁶.

A primeira descrição completa de um forno tipo meda, foi realizada por Plínio, o Velho ou o Naturalista, e apesar dos anos, não houveram modificações na maneira de carbonizar a madeira.

No Brasil, o processo de produção de carvão é conhecido desde os povos indígenas, recebendo suas primeiras inovações com a criação das primeiras siderúrgicas¹⁶. A implantação da primeira siderúrgica foi no ano de 1591, mas o maior impulso do setor veio com a criação da Escola de Minas de Ouro Preto no final do séc. XIX, a qual contribuiu para a construção do primeiro alto forno à carvão vegetal no ano de 1891¹². A importância do carvão como termo-redutor concretizou-se com a instalação, na década de 20, da Companhia Siderúrgica Mineira, atual Belgo Mineira, e da Aços Especiais Itabira, Acesita, no ano de 1944⁶.

A utilização do carvão vegetal já alcançou um nível de destaque na economia nacional, isto pode ser observado na projeção de seu consumo, mostrado na figura 1⁸.

Figura 1 - PROJEÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DO CARVÃO VEGETAL.



Fonte: Balanço energético nacional, 1978, M.M.E.

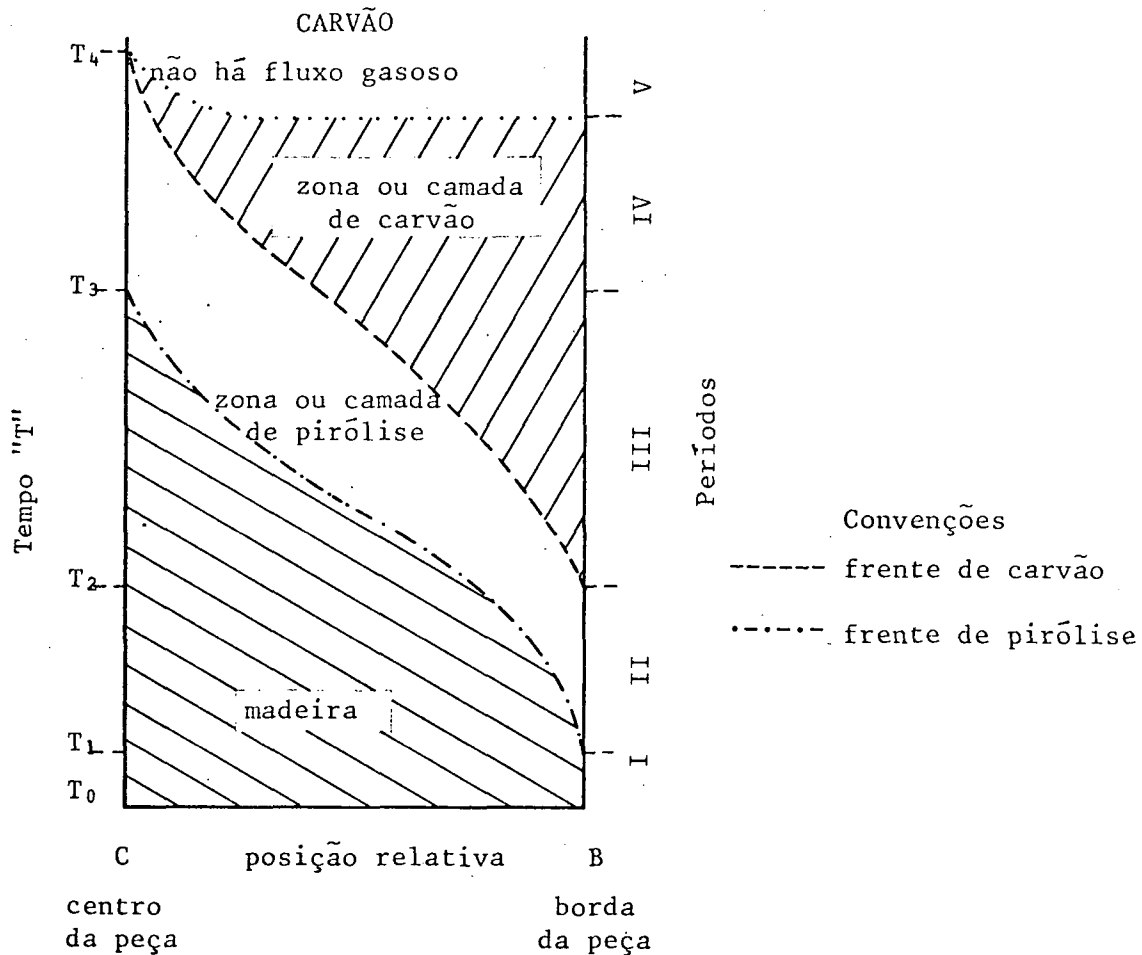
2.4 CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA

As fases do processo de carbonização estão relacionadas às formas de transferência de calor na madeira durante o processo devido às transformações termo-químicas ocorridas. Na Figura 2 é apresentado o modelo de carbonização de KANURY e BLACKSHEAR*, caracterizando um pedaço de madeira sob a ação do calor, origi-

* KANURY, A.M. & BLACKSHEAR, P.L. Some considerations pertaining to the problem of wood burning. *Combustion science and technology*, 1:1970, citado por OLIVEIRA, J.B. et alii³². Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: CETEC. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982. p. 59-73, (SPT-008).

nando cinco etapas desde a madeira até o carvão como produto final³¹:

Figura 2 - MODELO DE CARBONIZAÇÃO DE KANURY E BLACKSHEAR.



- Período I - A madeira encontra-se no seu estado original, e o calor fornecido do exterior se propaga por condução.
- Período II - Inicia as primeiras modificações produzidas pelo calor, sendo que no tempo T_1 é o início da decomposição da madeira a partir de sua superfície externa, originando a "frente de pirólise". As modificações ocorrem da superfície para o interior da madeira, e com tempo de exposição, a zona de pirólise irá avançar para o interior da peça. Neste período são identificados dois estágios onde o primeiro é a zona de

pirólise e o segundo onde a madeira continua a ser aquecida. Os gases quentes formados na zona de pirólise transporta calor para o exterior por convecção.

Período III - Começa a formação do carvão, existindo três zonas distintas, sendo uma interna, onde a madeira não sofreu transformação, uma de pirólise e a outra de carvão onde ocorreu a extração dos voláteis. A madeira já sofre maiores transformações, com a zona de pirólise alcançando o centro da peça, e a transferência de calor na zona de carvão se dá por condução e convecção. Neste período os gases pesados sofrem uma decomposição catalizada pelo leito do carvão quente, e os gases leves, ao passarem para o exterior, podem encontrar o oxigênio da atmosfera produzindo uma reação de combustão, com o fornecimento de energia na superfície do carvão.

Período IV - Desaparece a madeira no estado natural e passa a existir duas zonas que são a camada de pirólise e a camada de carvão predominante.

Período V - A frente de carvão alcança o centro da peça, formando uma única camada de carvão.

No decorrer da destilação seca da madeira são verificados vários fenômenos com a elevação da temperatura, os quais são apresentados abaixo, segundo UHART⁴⁶. O Quadro 1 mostra a evolução teórica da destilação de madeiras resinosas em função da elevação da temperatura, segundo o mesmo autor.

150 - 200°C. Ocorre a vaporização da água mecanicamente ligada à madeira.

200 - 280⁰C. Dã-se a liberaçãõ de co e co₂, acompanhados de pequena quantidade de vapores condensãveis contendo ácido acético e metanol. Os alcatrões formados são ainda insignificantes.

280 - 380⁰C. Inicia uma reação exotérmica de decomposição à temperatura de 280⁰C. Durante esta fase exotérmica a composição dos gases modifica-se, pois os gases oxigenados desaparecem em benefício do metano e de um pouco de hidrogênio. A formação de ácido e de espírito da madeira (metanol, acetona, acetato de metila e álcool alílico) atingem o seu máximo.

380 - 500⁰C. Entra-se na fase de "dissociação" do carvão. A liberação de hidrocarbonetos aumenta até 500⁰C e obtém-se uma quantidade importante de alcatrão.

Acima de 500⁰C. Os hidrocarbonetos são pouco à pouco substituídos pelo hidrogênio, o processo é conhecido como fase de hidrogênio.

Quadro 1 - EVOLUÇÃO TEÓRICA DA DESTILAÇÃO DE MADEIRAS RESINOSAS.

Períodos de carbonização	Libertação da água	Produção de gases oxigenados	Início da libertação de hidrocarbonetos	Fase de hidrocarbonetos C_nH_m	Dissociação	Fase do hidrogênio
Temperaturas em °C	150 - 200	200 - 280	280 - 380	380 - 500	500 - 700	700 - 900
Teor em carbono-% de carvão	60	68	78	84	89	91
Gases não condensáveis						
(CO ₂)	68	66,5	35,5	31,5	12,2	0,5
(CO)	30,0	30	20,5	12,3	24,6	9,7
(H ₂)	0,0	0,2	6,5	7,5	42,7	80,9
(Hidrocarbonetos)	2	3,3	37,5	48,7	20,5	8,9
Poder calorífico (por m ³ de gás) em calorías	1.100	1.210	3.920	4.780	3.630	3.160
Constituinte condensáveis nos gases	vapor de água	vapor de água e ácido acético	ácido acético, álcool metílico, alcatrões leves	muitos alcatrões espessos	alcatrão e parafina	pouca condensação
Quantidades de gases	muito poucas	poucas	importantes	importantes	poucas	muito poucas

Fonte: UHART, E. A floresta Amazônica: fonte de energia, 1976.

2.4.1 Influência da temperatura final de carbonização sobre as propriedades do carvão vegetal

Como exposto no ítem 2.4, a carbonização da madeira é resultado de reações químicas ocorridas com a elevação da temperatura final, as quais ocasionam mudanças nas propriedades físicas e químicas do carvão produzido.

2.4.1.1 Efeito nos rendimentos em peso do carvão, líquido e gases - O comportamento dos produtos da carbonização com a elevação da temperatura final são representados por uma diminuição nos rendimentos em peso do carvão e respectivos aumentos dos rendimentos em peso dos líquidos e gases.

A diminuição do rendimento em peso do carvão com a elevação de temperatura foi constatado para madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill, com idade de 5 anos, por ALMEIDA¹. Neste trabalho, observou que o efeito é acentuado nas temperaturas baixas de carbonização, havendo uma tendência de estabilização com a elevação destas temperaturas. Segundo o mesmo autor, o decréscimo no rendimento é explicado em razão do aumento da temperatura facilitar a dissociação do carvão com a liberação de gases, bem como gaseificar parte da estrutura sólida deste carvão. Este comportamento para o efeito do rendimento em peso de carvão foi igualmente observado para a mesma espécie com idades de 6, 8, e 10 anos, nas temperaturas finais de carbonização de 300, 500 e 700 °C, por OLIVEIRA et alii³².

A redução do rendimento em peso de carvão com a elevação da temperatura final de carbonização foi também constatado por DUPONT, G.*

* DUPONT, G. Bulletin de l'Institut du pin, jan/fev/março, 1931. citado por RAMALHO³⁶. Carvões vegetais para gasogênios. Ministério da Economia. Comissão Reguladora do Comércio de Carvoes, Lisboa, 1943/45. 110 p.

citado por RAMALHO³⁶, para madeira seca de pinho carbonizada em vasos fechados, e por HARRIS¹⁷, que carbonizou eucaliptos típicos da Austrália em retorta vertical.

Segundo POHL, W.*, citado por WENZL⁴⁷, o aumento da temperatura final de carbonização além de provocar um decréscimo rápido no rendimento em carvão, é responsável por mudanças na composição química deste material.

O quadro 2 apresenta os rendimentos em peso de carvão, líquido e gases na base seca, para *Eucalyptus grandis* W.Hill carbonizado em retorta elétrica a várias temperaturas finais de carbonização³¹.

Quadro 2 - RENDIMENTO EM PESO DE CARVÃO, LÍQUIDO CONDENSÁVEL E GASES NÃO CONDENSÁVEIS NA BASE SECA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.

Temperatura de carbonização (°C)	Rendimentos na base seca (%)		
	carvão	líquido	gases
450	32,89	43,68	23,43
550	28,15	46,73	25,12
700	27,57	46,30	26,13

Observa-se no quadro anterior que a tendência do rendimento em peso para o carvão é diminuir com a elevação da temperatura, o que vem a confirmar as observações anteriores. Em consequência ter-se-á um aumento nos rendimentos em peso dos líquidos

* POHL, W. in Ullmann, "Enzyklopadie der techn. chemie", Urbam & Schwarzenberg, Munchen - Berlin, 1957. vol.8, 585p. citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press, 1970. 692 p.

e gases, com as respectivas elevações nas temperaturas finais de carbonização.

2.4.1.2 Efeito da temperatura de carbonização nos teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas - O aumento do teor de carbono fixo com o aumento da temperatura final de carbonização é um comportamento bem conhecido. Este efeito é devido à liberação dos componentes gasosos durante a carbonização, formados principalmente por monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos. Estes componentes na sua formação consomem mais hidrogênio e às vezes, mais oxigênio que carbono¹.

Outro pesquisador como BERGSTROM, H.*, citado por WENZL⁴⁷, menciona somente que o conteúdo de carbono fixo no carvão aumenta rapidamente com a elevação da temperatura de carbonização, e alcança um valor quase constante próximo à temperatura de 700°C.

O comportamento do percentual dos componentes químicos do carvão mediante a elevação da temperatura de carbonização é apresentado no quadro 3, segundo POHL, W.**, citado por WENZL⁴⁷.

Quadro 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CARVÃO VEGETAL COM O AUMENTO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO.

Temperatura de carbonização (°C)	Composição química elementar (%)		
	carbono	hidrogênio	oxigênio
200	52,30	6,30	41,40
300	73,20	4,90	21,90
400	82,70	3,80	13,50
500	89,60	3,10	6,70
600	92,60	2,60	5,20
800	95,80	1,00	3,30
1000	96,60	0,50	2,90

* BERGSTROM, H. Produkter ur tra., vol. VIII, Stockhlo, 1954, citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press. 1970. 692 p.

**POHL, W. in Ullmann, "Enzyklopadie der techn. chemie", Urban & Schwarzenberg, Munchen-Berlin, 1957. Vol.8, 585p., citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press. 1970. 692 p.

A correlação direta observada entre a temperatura de carbonização e a quantidade de carbono fixo é uma das razões da correlação inversa entre a temperatura da carbonização e a quantidade de materiais voláteis no carvão. Os materiais voláteis produzidos durante a carbonização da madeira variam com a temperatura de carbonização, sendo que o vapor d'água e dióxido de carbono são os principais constituintes. No desenvolver do processo de carbonização, a quantidade de monóxido e dióxido de carbono aumenta igualmente com a quantidade de hidrocarbonetos. Apesar da estrutura básica do carvão se formar à determinada temperatura, um aumento nesta temperatura irá resultar na retirada de maiores quantidades de água, monóxido e dióxido de carbono²².

Com respeito ao teor de cinzas no carvão, a afirmação de LAXAMANA²², de que apenas a espécie e o sítio onde se desenvolve podem influenciar, parece ser confirmada por HARRIS¹⁷, o qual afirma que a temperatura de carbonização não altera o teor de cinzas no carvão. Em parte este comportamento não condiz com as afirmações de WENZL⁴⁷, de que o conteúdo de cinzas no carvão depende da madeira e da temperatura de carbonização, e dos resultados de OLIVEIRA et alii³¹ da análise química imediata do carvão da madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill, apresentada no quadro 4.

Quadro 4 - ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO NA BASE SECA EM RELAÇÃO À ELEVÇÃO DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO, PARA *Eucalyptus grandis* W.Hill COM 5,5 ANOS DE IDADE.

Temperatura de carbonização (°C)	Análise química imediata (%)		
	carbono fixo	materiais voláteis	cinzas
450	75,06	21,03	3,91
550	86,53	10,12	3,35
700	89,82	7,25	2,93

2.4.1.3 Efeito da temperatura de carbonização no poder calorífico superior do carvão vegetal - Em estudos realizados por HARRIS¹⁷ sobre a carbonização de madeira de eucaliptos australianos, observa-se um aumento no poder calorífico com o aumento na temperatura final de carbonização no intervalo estudado entre as temperaturas de 400 e 650°C, e é mencionado neste estudo que o aumento do poder calorífico é bem menos acentuado nas temperaturas elevadas.

BAILEYS e BLANKENHORN², em estudo do poder calorífico de *Quercus rubra*, *Pinus ponderosa*, *Prunus serotina* e *Populus sp.*, menciona que o seu valor aumenta proporcionalmente com o aumento da temperatura final de carbonização, relacionando este efeito ao contínuo aumento no teor de carbono fixo.

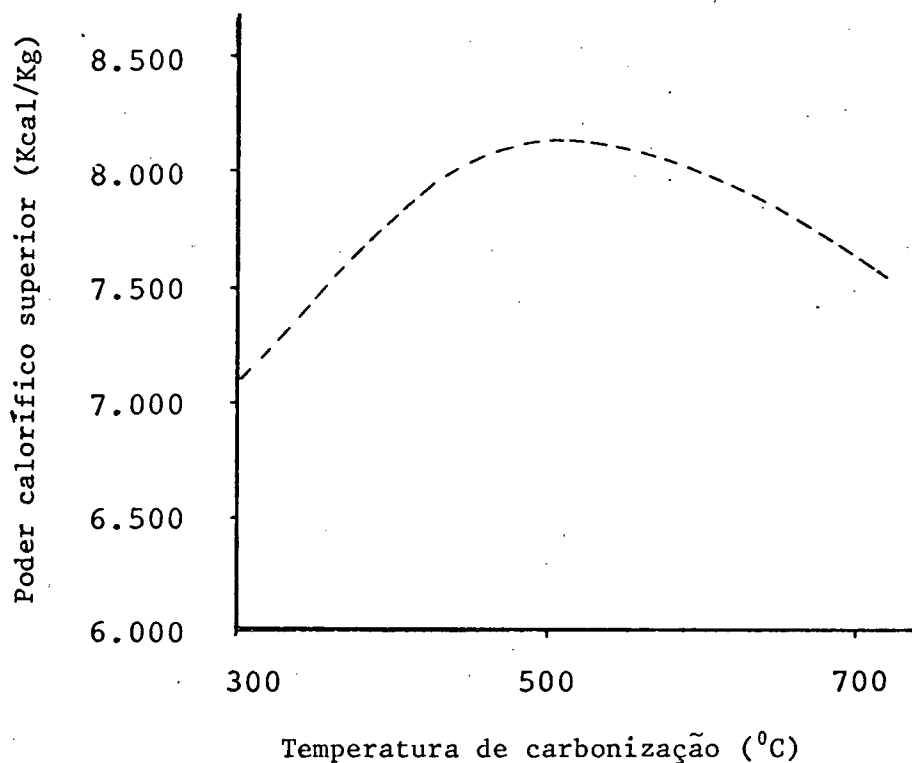
A teoria apresentada nos trabalhos acima, deixa evidente que a razão do aumento do poder calorífico está intimamente correlacionada ao teor de carbono fixo no carvão, o qual aumenta com a elevação da temperatura final de carbonização, e desta maneira é esperado o mesmo comportamento para o poder calorífico.

Outros pesquisadores no entanto, defendem a teoria de que o poder calorífico do carvão está correlacionado não somente ao conteúdo de carbono fixo, mas sim a composição química deste carvão. EARL¹⁴ diz que o poder calorífico do carvão é praticamente equivalente ao do carbono, mas que, em carvão vegetal com alto conteúdo de materiais voláteis é esperado um maior valor para o poder calorífico, que aquele com elevado conteúdo de carbono fixo, e este comportamento se deve ao diferencial entre as calorias fornecidas pelo carbono e hidrogênio, onde 1 (uma) grama de carbono produz 7,9 Kcal, enquanto 1 (uma) grama de hidrogênio produz 34 Kcal.

A comprovação da teoria acima é apresentada por SATONAKA³⁷, em estudo realizado com a madeira de *Quercus mongolica*. Constatou-se que o poder calorífico por unidade de peso alcançou o valor máximo de 8.010 Kcal/Kg à temperatura de 600°C, e este valor reduz-se a 7.630 Kcal/Kg à temperatura de carbonização de 1.100°C, devido a grande diminuição da percentagem de hidrogênio no carvão mais que no aumento da percentagem de carbono fixo.

A Figura 3 apresenta o comportamento do poder calorífico superior do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização, determinado em bomba calorimétrica, para a madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill nas temperaturas de carbonização de 300, 500 e 700°C, realizado por MENDES et alii²⁵.

Figura 3 - VARIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO VEGETAL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO.



O carvão produzido à temperatura de 500°C possui um maior valor do poder calorífico que o produzido à temperatura de 300 e 700°C, o fato se deve à composição química elementar, pois o teor de oxigênio diminui sensivelmente na faixa de temperatura de 300 à 500°C²⁵.

DUPONT, G.*, citado por RAMALHO³⁶, verificou que para carbonização de lenha de pinho, ocorre um valor máximo para o poder calorífico à temperatura de 515°C e decresce à 545°C.

Estes trabalhos confirmam a tendência da variação do poder calorífico em função da temperatura de carbonização apresentada por SATONAKA³⁷.

Conforme as teorias apresentadas, observa-se que há dois comportamentos distintos para o efeito da temperatura de carbonização sobre o poder calorífico superior do carvão vegetal, apesar da restrição de que grande parte dos trabalhos não descrevem a metodologia empregada na carbonização e determinação do poder calorífico.

2.4.1.4 Efeito da temperatura de carbonização no peso específico básico do carvão - Salienta-se que a normalização para se expressar a relação peso sobre volume aparente para carvão vegetal ainda não existem normas. A metodologia utilizada na determinação do volume aparente influi diretamente no valor do peso específico. Tentativas para uma normalização da metodologia para esta determinação foi desenvolvida por OLIVEIRA et alii³¹, baseado em uma adaptação da norma ASTM D 167-73 "Specific

* DUPONT, G. Bulletin de L'Institut du pin, jan/fev/março 1931, citado por RAMALHO³⁶. Carvões vegetais para gasogênios. Ministério da Economia. Comissão reguladora do comércio de carvoes. Lisboa, 1943/45. 110 p.

Gravity of Lump Coke". Apesar dos esforços empreendidos, ainda não se definiu satisfatoriamente quanto a determinação do volume aparente e a terminologia adequada. Desta maneira empregou-se sempre o termo peso específico básico em vez de densidade aparente.

No presente trabalho foi adotada a terminologia peso específico básico do carvão para expressar a relação:

$$P_{eC} = P_s/V_u \text{ (g/cm}^3\text{)},$$

onde:

P_{eC} : peso específico básico do carvão (g/cm³);

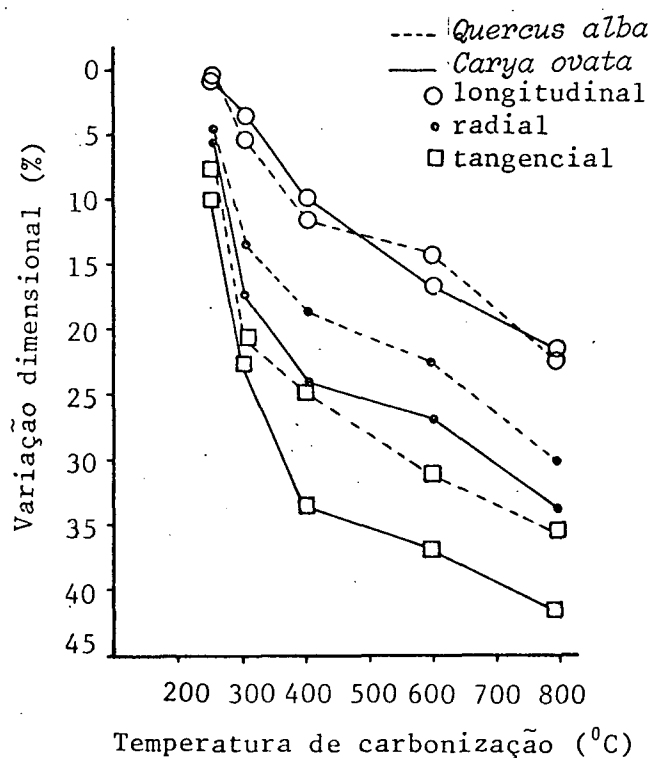
P_s : peso seco do carvão (g);

V_u : volume saturado do carvão (cm³).

A influência da temperatura final de carbonização sobre o peso específico básico, pode ser melhor entendida ao se analisar a influência da temperatura sobre o peso seco e sobre o volume. A elevação da temperatura de carbonização provoca uma perda de massa e variações dimensionais.

Em pesquisas desenvolvidas para *Quercus alba* e *Carya ovata*, foi constatado que o peso específico do carvão com a elevação da temperatura diminui até a temperatura de 600^oC, onde apresenta-se com o menor valor, aumentando a partir daí até a temperatura de 800^oC, apresentando como justificativa que a razão de quase 1/4 do total da perda de massa do carvão se processa até a temperatura de 250^oC e mais 4/5 do restante até a temperatura de 400^oC. Esta perda de massa é devida à decomposição da celulose, hemicelulose e lignina em menor proporção⁴. A Figura 4 apresenta a variação dimensional com a elevação da temperatura de carbonização para as duas madeiras estudadas pelo autor anteriormente citado.

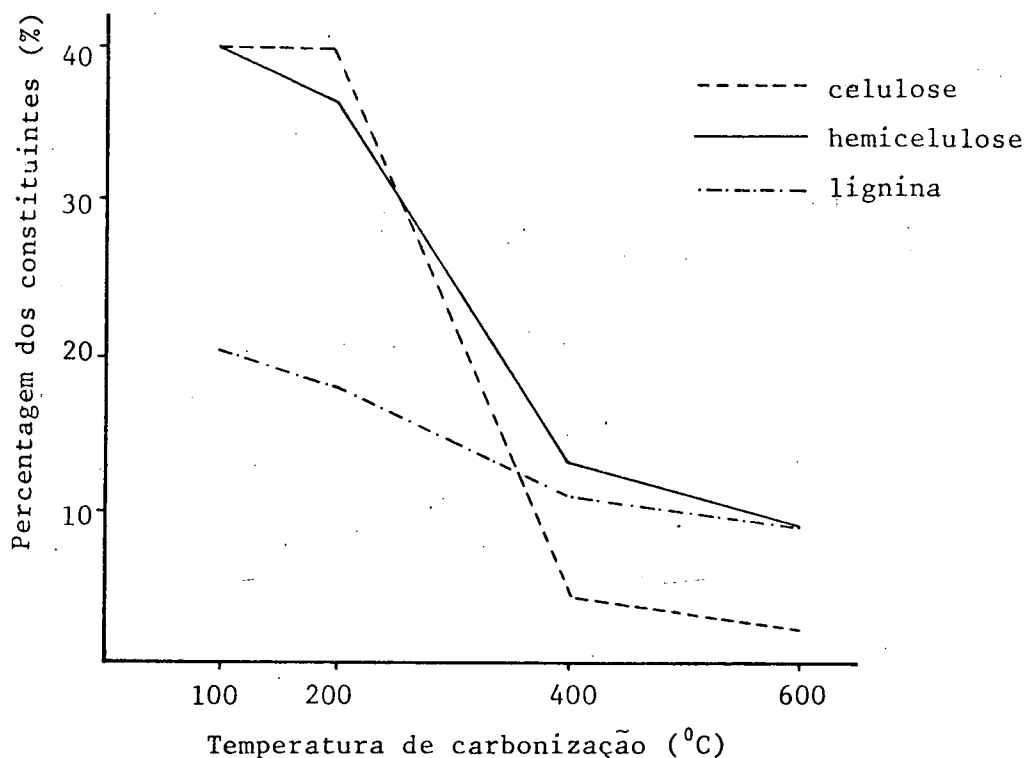
Figura 4 - VARIAÇÃO DIMENSIONAL OCORRIDA NAS ESPÉCIES COM A ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO.



O comportamento da perda de massa do carvão com a elevação de temperatura foi igualmente constatado por BEALL et alii³, observando-se os constituintes isolados da madeira de *Liriodendron tulipifera*. Concluiu-se que houve uma perda brusca de massa total em quase 2/3 entre as temperaturas de 200 e 400°C. A Figura 5 apresenta o percentual relativo de celulose, hemicelulose e lignina à diferentes temperaturas de carbonização, para a referida espécie.

Em trabalho realizado para madeiras tratadas e não tratadas a diferentes temperaturas de carbonização, KRYLA²⁰ observou que tanto a perda de massa como a contração volumétrica sofreram decréscimos acentuados entre as temperaturas de 250 à 400°C.

Figura 5 - PERCENTUAL RELATIVO DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DA MADEIRA DE *Liriodendron tulipifera* COM A ELEVAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO.



Assim é importante atentar para o efeito da perda de massa relacionado às variações dimensionais ocorridas com a elevação da temperatura de carbonização. A perda de massa e variações dimensionais relacionadas a diferentes temperaturas de carbonização é apresentado no Quadro 5, para madeira de *Betula* sp.²⁶

Quadro 5 - PERDA DE MASSA E CONTRAÇÕES NA MADEIRA DE *Betula* sp. EM FUNÇÃO DA ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO.

Temperaturas (°C)	Perda de massa (%)	Contrações (%)		
		Radial	Tangencial	Longitudinal
200	4,00	1,00	1,00	0
300	49,00	19,00	18,00	4,00
400	71,00	26,00	34,00	13,00
500	74,00	29,00	37,00	16,00
600	76,00	30,00	39,00	18,00
700	77,00	33,00	40,00	21,00

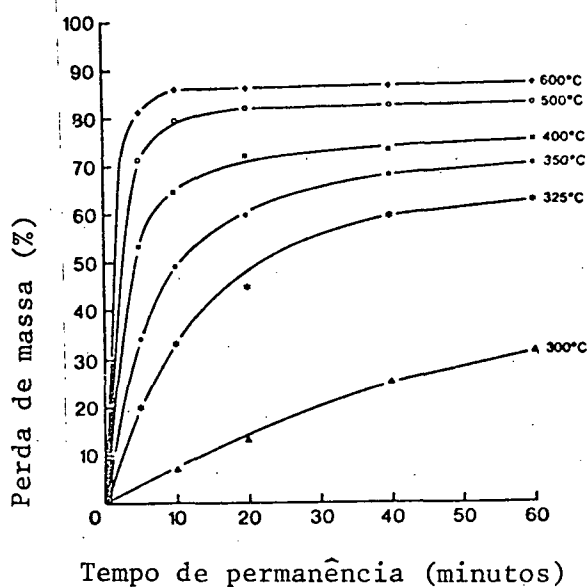
O comportamento do peso específico básico do carvão com relação à temperatura de carbonização é também apresentado por BLANKENHORN et alii⁵, constatando que há decréscimo no peso específico do carvão até a temperatura de 600^oC e posteriormente se observa um ligeiro aumento com a elevação da temperatura. Melhores explicações são apresentadas por MENDES et alii²⁵, que trabalhou com madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill nas temperaturas de 300, 500 e 700^oC, obtendo-se respectivamente 0,35; 0,39 e 0,35 g/cm³, e sugere que entre as temperaturas de 300 e 500^oC há uma considerável perda de massa devido à liberação de voláteis, não acompanhada em termos proporcionais pelas variações dimensionais no carvão, o que resulta em um menor valor para o peso específico à 500^oC e na faixa de 500 à 700^oC o efeito na variação dimensional é superior ao que ocorre com perda de massa, o que resulta em um maior valor para o peso específico na temperatura de 700^oC.

2.4.2 Influência do tempo de permanência à temperatura final de carbonização

No que se refere às informações obtidas em literatura, são poucos os trabalhos onde se analisa a influência do tempo de permanência à temperatura final de carbonização.

Em estudo realizado por NANASSY & FUNG²⁷ para *Pseudotsuga menziesii*, carbonizada à vácuo em temperaturas de 300 à 600^oC e tempo de permanência às temperaturas de 5 à 60 minutos, observa-se um constante aumento na perda de massa em relação ao tempo de permanência a partir de 300^oC. Para temperaturas superiores a 350^oC, ocorre pouca ou nenhuma perda de massa para tempos de permanência maiores que 20 minutos. Estas conclusões são apresentadas em forma de gráfico na Figura 6.

Figura 6 - PERDA DE MASSA DA MADEIRA E TEMPO DE PERMANÊNCIA À VÁRIAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO.



A influência no rendimento em peso foi observada por SLOCUM et alii⁴⁰, para *Quercus alba* e *Carya ovata*, onde o tempo de permanência de 50 horas nas temperaturas de 400 e 600°C, provoca uma diminuição do rendimento em 8% comparado às condições de tempo zero de permanência. Um tempo adicional de 50 horas na temperatura de 600°C, não promoveu decréscimos nos rendimentos. Constatou-se ainda, que na temperatura de 800°C os tempos de permanência de 12 e 114 horas reduz o rendimento em 3 e 10% respectivamente.

O peso específico básico do carvão das madeiras citadas anteriormente, diminui com o tempo de permanência às temperaturas de 500 e 800°C, entretanto, o comportamento do peso específico é contrário para a temperatura de 600°C. O tempo de permanência pode alterar a estrutura do carvão de maneira similar à elevação

de temperatura, pois à 400°C o tempo de permanência diminui o peso específico do carvão da mesma forma que a temperatura de 600°C com zero tempo de permanência⁴⁰.

2.4.3 Efeito da taxa de aquecimento da carbonização

A taxa de aquecimento expressa a relação entre a variação da temperatura em um intervalo de tempo. É bem conhecido que o aumento desta relação provoca uma pequena diminuição no rendimento em peso do carvão.

KLASON, P.*, citado por WENZL⁴⁷, estudando a madeira de *Betula* sp., a temperatura de 400°C com quatro taxas de aquecimento, e OLIVEIRA et alii³¹, pesquisando madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill e *Eucalyptus paniculata* carbonizadas a 430°C a várias taxas de aquecimento, constataram o comportamento acima descrito. Este fato pode ser explicado pelas reações químicas desencadeadas no processo ocorrerem mais bruscamente, fazendo com que os gases produzidos tenham uma saída mais rápida do interior do carvão.

No trabalho para madeira de eucaliptos descrito anteriormente, OLIVEIRA et alii³¹ constata que a taxa de aquecimento influi na composição química do carvão, sendo que o aumento na taxa de aquecimento leva a um aumento no teor de carbono fixo e consequente diminuição no teor de voláteis do carvão. A possível explicação do comportamento baseia-se no apresentado para o rendimento em peso do carvão, pois o aumento da taxa de aquecimento propicia a retirada de voláteis do interior do carvão aumentando assim o percentual de carbono fixo.

* KLASON, P. Archiv. Kemi. mineralog., geolog. 5:7 (1913); J. Prakt. chem. 90, 413 (1914), citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press. 1970. 692 p.

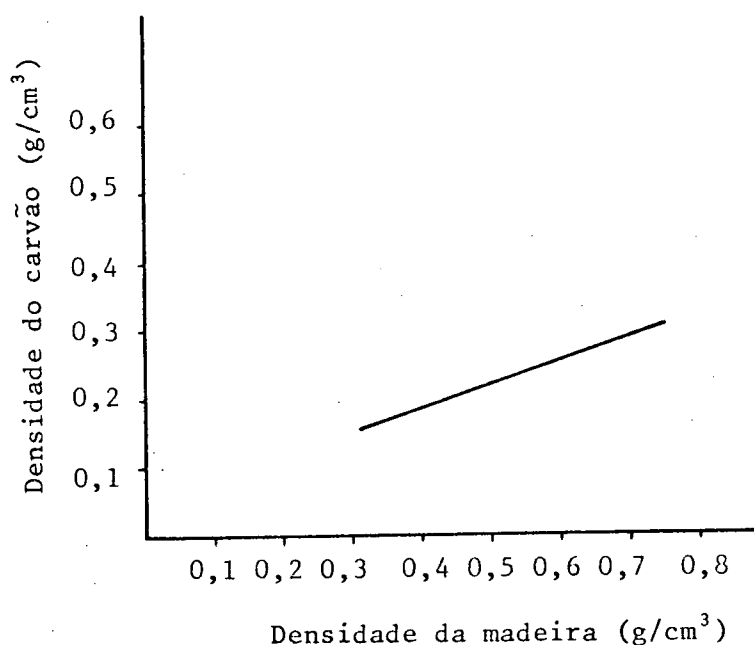
Uma das consequências da perda de peso com o aumento da taxa de aquecimento é a diminuição no valor do peso específico básico do carvão, devido às variações dimensionais sofrerem efeito inferior ao apresentado pela perda de massa. Este efeito da diminuição do peso específico do carvão com o aumento da taxa de aquecimento é citado por MENDES et alii²⁵, para madeiras de eucaliptos carbonizados à temperatura de 430^oC, nas taxas de aquecimento de 0,1^oC/min. e 3,4^oC/min.

2.4.4 Efeito do peso específico da madeira

O peso específico da madeira influencia o rendimento em peso do carvão e o peso específico deste, de modo que, madeiras com altos valores de peso específico produz consequentemente, um carvão com alto peso específico e ter-se-á um maior rendimento em peso na carbonização¹⁰.

A Figura 7 apresenta a correlação entre o peso específico da madeira e do carvão, segundo PETROF & DOAT³⁴.

Figura 7 - CORRELAÇÃO ENTRE O PESO ESPECÍFICO DA MADEIRA E DO CARVÃO PARA DIVERSAS ESPÉCIES.



A correlação entre o peso específico da madeira e peso específico do carvão foi igualmente observado por OLIVEIRA et alii³⁰, para madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill com 6 e 10 anos de idade.

2.4.5 Efeito do teor de umidade na madeira

Um maior teor de umidade na madeira irá ocasionar uma redução no rendimento em peso de carvão. A variação no rendimento em peso de carvão com o teor de umidade é devido ao maior consumo de material à fim de fornecer energia necessária para se provocar a retirada de água durante a carbonização⁴.

O efeito pode ser melhor observado em um exemplo prático, onde madeiras com 32% de umidade na base seca proporcionou um rendimento de carvão em peso de 30%, enquanto esta mesma madeira com 44% de umidade o rendimento em peso de carvão baixou para 27%¹⁰.

O teor de umidade na madeira é uma variável que afeta diretamente o rendimento em peso de carvão, bem como suas qualidades.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A finalidade principal deste trabalho é a qualificação do carvão de Jurema Preta, para tanto foram realizadas avaliações de suas principais características que são, os rendimentos em peso (carvão, líquido e gases), peso específico básico, poder calorífico e composição química no que diz respeito à carbono fixo, voláteis e cinzas.

Apesar de não ser o objetivo principal foi determinado inicialmente o peso específico básico da madeira por estar correlacionado às propriedades do carvão. Como complemento do trabalho realizou-se a quantificação da espécie e a determinação do peso médio de cada árvore, para o estabelecimento de uma previsão do potencial produzido pelo carvão da espécie de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), no município de Patos, no estado da Paraíba, em caráter preliminar.

3.1 JUREMA PRETA (*Mimosa hostilis*, Benth)

Sua ocorrência é conhecida desde o estado do Ceará até a Bahia.

A árvore apresenta um porte arbustivo geralmente bifurcada com galhos baixos, alcançando uma altura média de 4,5 m. com a idade de 5 anos. Apresenta espinhos no caule e uma casca rugosa com fendas longitudinais pouco fibrosas. As folhas são bipinadas e flores dispostas em espigas de cor amarela esbranqui-

çada. O fruto é uma vagem pequena de tegumento fino e quebradiço quando maduro. A copa da árvore é relativamente densa e o diâmetro máximo do tronco situa-se entre 15-20 cm. O cerne é castanho avermelhado produzindo excelente lenha e carvão⁴⁵.

A espécie possui abundante sementeação e sua regeneração pode ser por sementeação e brotação após o corte do tronco. Possui facilidade de adaptação à quaisquer condições edáficas, mesmo em solos secos, pedregosos e mineralizados¹¹.

3.2 COLETA DE MATERIAL

3.2.1 Local de coleta

A escolha da área para coleta de material foi concionada de maneira que a mesma devesse apresentar características próprias da região semi-árida do nordeste no que se refere a clima e vegetação, bem como destacar-se como área de interesse à futuros investimentos do setor florestal. Desta maneira escolheu-se o município de Patos, no estado da Paraíba, que atende as características desejadas e possui a Escola de Engenharia Florestal, o que viria facilitar na execução dos trabalhos.

O município está localizado na mesorregião do sertão paraibano e microrregião da Depressão do Alto Piranhas. A altitude é de 250 metros, situando-se entre as coordenadas 7°01' latitude sul e 37°16' longitude oeste⁸. Sua localização geográfica é mostrada no mapa "Divisão Política do Estado da Paraíba", no Anexo 1.

O relevo situado na unidade "Depressão Sertaneja", é caracterizado por extensas áreas de suaves ondulações e apresenta um processo erosivo bem ativo com desnudação provocada pelo carreamento de detritos. A unidade morfológica está no "Esboço

Geomorfológico do Estado da Paraíba", apresentado no Anexo 2.

O clima é semi-árido quente, com temperatura média anual máxima de 34°C e mínima de 24°C⁷. Segundo as "Regiões Bioclimáticas do Estado da Paraíba" (Gaussens-1968), o município possui um bioclima sub-desértico quente de tendência tropical e uma transição para o clima tropical quente de seca acentuada, observado no Anexo 3.

A precipitação total anual média no município é de 670 mm⁷, e o respectivo balanço hídrico (Thorntwaite e Matter-1955) é apresentado no Anexo 4, figura 1.

O Anexo 4, figura 2, apresenta o regime pluviométrico, com as precipitações médias mensais, enfatizando os anos considerados normais e secos no período de 1911/71 (SUDENE).

A vegetação da área é formada por caatinga hiperxerófila e hipoxerófila, sendo que a segunda apresenta o mais acentuado grau de xerofitismo que é típico de zona semi-árida com vegetação de porte arbustivo⁷.

3.2.2 Amostragem e preparação do material

Para a amostragem do material, primeiramente se fez um croquis da área do município de Patos-Pb, que possui pouco mais de 400 km², dividindo-o em pequenas áreas de 4 km² onde se escolheu aleatoriamente um número de 10 áreas. A localização no campo das áreas foi segundo seus limites com outros municípios e pelas rodovias e obedecendo-se a condição de que nestas áreas houvesse a ocorrência da espécie, caso contrário, procedia-se novo sorteio.

Nas áreas selecionadas para a amostragem, traçou-se uma parcela de 10 x 100 m, o que totaliza uma área de 1.000 m². Em

cada uma das parcelas, cortou-se aleatoriamente 6 árvores de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) compreendidas na faixa diametral de 5-15 cm tomados a 10 cm do nível do solo, por estes diâmetros representarem o comumente encontrado para a espécie. A altura de tomada do diâmetro foi pré-estabelecida dado a frequência de bifurcações à baixa altura do tronco. Nas parcelas fez-se a contagem dos indivíduos situados na faixa diametral estabelecida. Para as árvores cortadas procedeu-se a pesagem de todo material produzido, exceto raízes, visando conseguir elementos para se traçar o potencial do carvão capaz de ser gerado pela respectiva espécie.

Retirou-se aleatoriamente 2 secções de aproximadamente 0,50 m de comprimento de cada árvore cortada. Estas secções foram retiradas com vista a cobrir a variabilidade dos diâmetros dos galhos. Posteriormente o material foi transformado em corpos de prova.

A necessidade de padronização das dimensões dos corpos de prova fez-se necessária para a realização do experimento. Foram estabelecidas as dimensões de 2 x 2 x 15 cm, sem haver diferenciação de cerne e alburno devido a característica da própria madeira.

Confeccionou-se 180 corpos de prova livres de defeitos, suficientes para atender as necessidades do experimento, bem como uma quantidade suplementar de 90 corpos de prova para as possíveis eventualidades. Do total de 270 corpos de prova, foi formado um único lote para que fossem retiradas aleatoriamente a quantidade necessária para cada carbonização.

Como o teor de umidade dos corpos de prova não foi uma variável no processo de carbonização, realizou-se uma uniformida-

de através de uma secagem em estufa à temperatura de $103 \pm 3^{\circ}\text{C}$. O controle desta secagem foi por pesagens de amostras do lote devidamente codificadas, e quando da obtenção de pesos constantes, o material foi levado para uma câmara de climatização com temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%. Segundo a recomendação da COPANT-459, foram deixados neste ambiente até que atingissem umidade de equilíbrio próximo a 12%.

3.3 PESO ESPECÍFICO BÁSICO DA MADEIRA

O peso específico básico da madeira é estabelecido pela razão entre o peso seco da madeira e o volume saturado desta mesma madeira, e é expressa pela seguinte fórmula:

$$Pe_b = \frac{Ps}{Vu} \quad (\text{g/cm}^3),$$

Onde:

Pe_b : peso específico básico (g/cm^3);

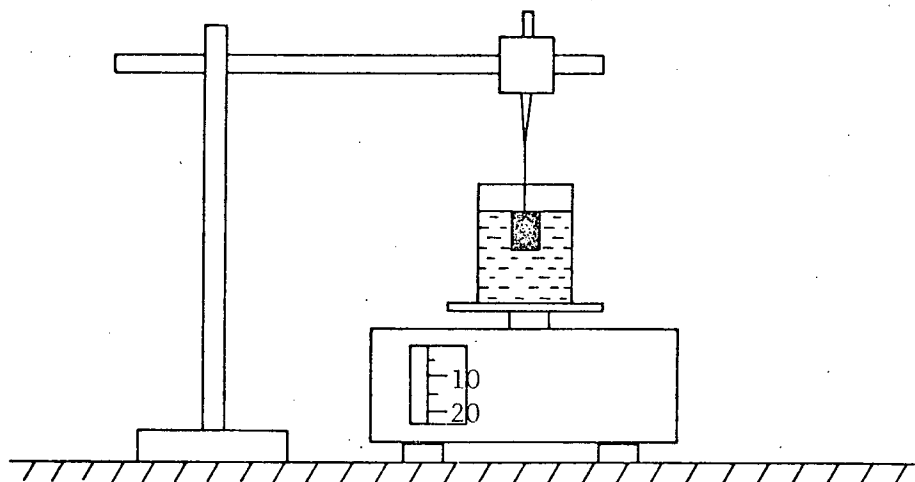
Ps : peso seco do corpo de prova (g);

Vu : volume saturado do corpo de prova (cm^3).

As dimensões dos corpos de prova foram seguidas conforme a recomendação da COPANT-458, que são 20 x 20 x 20 mm.

Previamente à determinação do volume úmido, o corpo de prova foi submerso em água destilada, onde foi deixado por um período de tempo que alcançasse uma completa saturação. O controle deste estado se deu por sucessivas pesagens diárias até que se obtivesse pesos constantes. Após esta condição, adotou-se o método recomendado pela COPANT-461, que é submergir o corpo de prova em um recipiente com volume conhecido de água destilada, colocado sobre uma balança, pois a água deslocada pela imersão do corpo de prova é igual ao peso obtido na leitura da pesagem. O esquema adotado para pesagem é apresentado na Figura 8.

Figura 8 - ESQUEMA ADOTADO NA DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÚMIDO POR PESAGEM.



Para a determinação do peso seco foi realizado uma secagem em estufa à temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. O controle do estado de completamente seco foi por sucessivas pesagens, até que se obtivesse pesos constantes. Após esta condição, o corpo de prova foi retirado da estufa e colocado em dessecador para se evitar absorção de umidade e completar o esfriamento, para posteriormente se obter o peso seco definitivo em balança analítica com precisão de 0,01 g.

Os corpos de prova utilizados na determinação do peso específico foram tirados aleatoriamente do material coletado de cada uma das 10 parcelas estabelecidas no campo, sendo um número de 4 corpos de prova por parcela, totalizando-se 40 amostras. Foi tirado a média do peso específico obtido para as amostras, obtendo-se a média do peso específico básico da madeira.

3.4 PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO

O processo de carbonização constou de três fases distin-

tas que foram a preparação das amostras, a carbonização propriamente e o acondicionamento do carvão produzido.

Na preparação das amostras para cada carbonizada foi utilizado 5 amostras de dimensões 2 x 2 x 15 cm retiradas aleatoriamente do lote total acondicionado na câmara de climatização. Em cada uma das amostras foi retirado uma outra amostra mediana de dimensões 2 x 2 x 2 cm para a determinação do teor de umidade na base seca do material a ser carbonizado. Para a determinação do teor de umidade foi obtido o peso úmido total das 5 amostras e, posteriormente, o material foi colocado em estufa com temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até que alcançasse pesos constantes para a obtenção do peso seco definitivo, para aplicação da seguinte relação:

$$U = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 (\%),$$

onde:

U : teor de umidade na base seca (%);

P_u : peso úmido das amostras (g);

P_s : peso seco das amostras (g).

Com a retirada das amostras medianas para a determinação do teor de umidade, cada amostra original de dimensões 2x2x15cm proporcionaram 2 corpos de prova de dimensões 2x2x6,5 cm. Assim, foi obtido o lote de 10 corpos de prova, lote este utilizado em cada carbonização, sendo que o mesmo foi devidamente pesado e então colocado na retorta.

No processo de carbonização foi estabelecido condições constantes quanto a taxa de aquecimento e patamares de temperatura. A taxa de aquecimento usada foi de $5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$, por representar uma taxa comumente utilizada em condições de laboratório devido à facilidade de operação. Os patamares estabelecidos nas tempe-

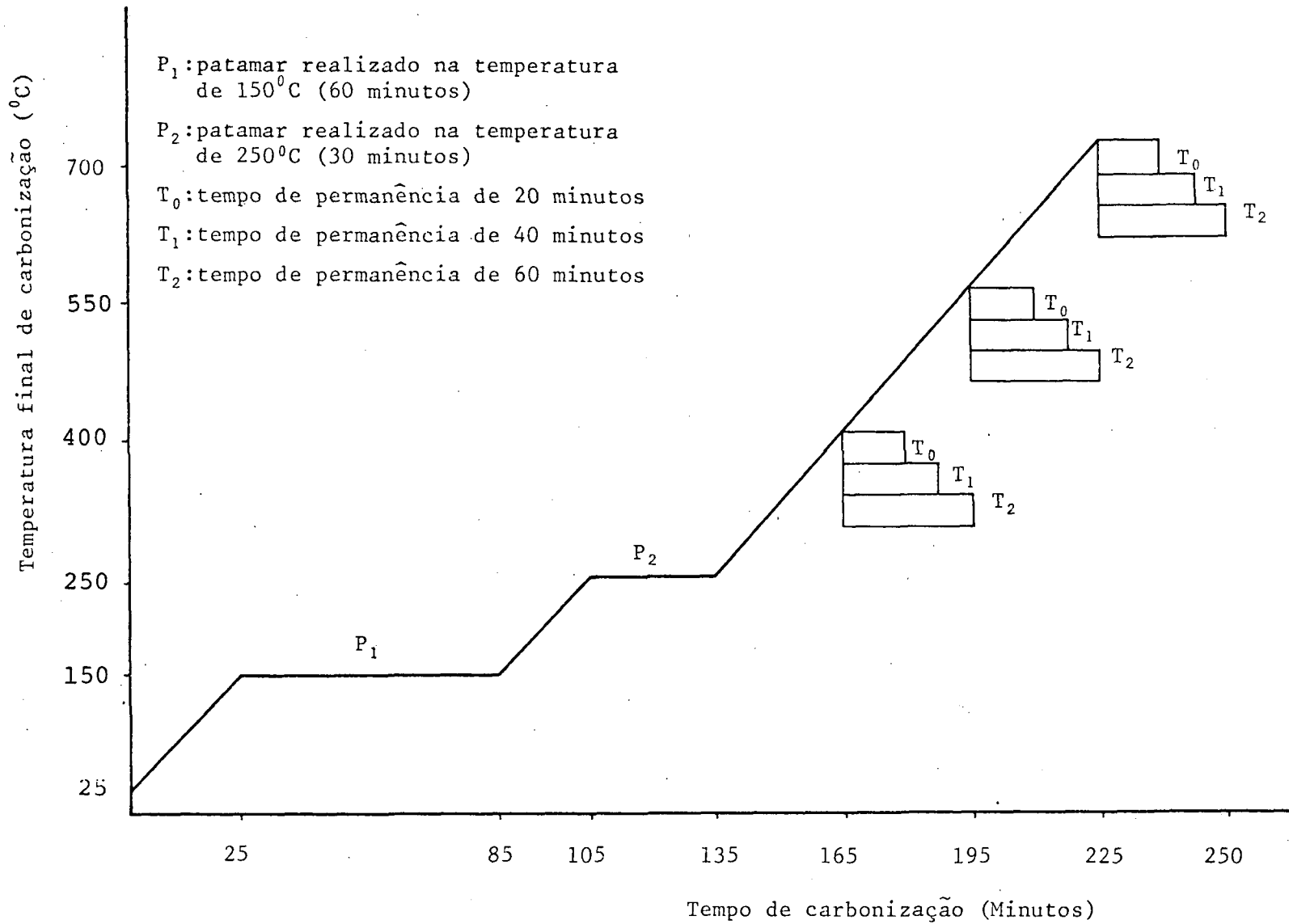
raturas foram de 1 (uma) hora à temperatura de 150^oC e meia hora à temperatura de 250^oC. A razão dos patamares se deve à importância destas temperaturas na qualidade do carvão produzido, pois a temperatura do primeiro patamar compreende a faixa onde ocorre o processo de evaporação de água da madeira e a temperatura do segundo patamar é caracterizada pelo início das reações exotérmicas.

Os tratamentos foram diferenciados somente quanto as temperaturas finais de carbonização e os tempos de permanência a estas temperaturas. As temperaturas empregadas foram 400, 550 e 700^oC, a razão foi devido às mesmas compreenderem uma faixa de temperatura onde situam-se as principais variações de interesses ocorridas no produto final que é o carvão. Os tempos de permanência às temperaturas finais de carbonização foram 20, 40 e 60 minutos, estabelecidos em função do trabalho de NANASSY e FUNG²⁷ com o propósito de diferenciar o efeito proporcionado pelo tempo sobre a perda de massa da madeira.

O desenvolvimento das carbonizações é apresentado na Figura 9.

Ao final de cada carbonização, a retorta foi retirada do forno para o devido esfriamento por um período de 1(uma) hora. O líquido condensado coletado no sistema de condensadores foi devidamente pesado. Após o esfriamento da retorta, o carvão foi retirado e colocado em dessecador para completar o esfriamento e evitar absorção de umidade. Posteriormente o carvão foi pesado e acondicionado em vidros etiquetados para as devidas análises.

Figura 9 - DESENVOLVIMENTO DAS CARBONIZAÇÕES.



3.4.1 Equipamento utilizado

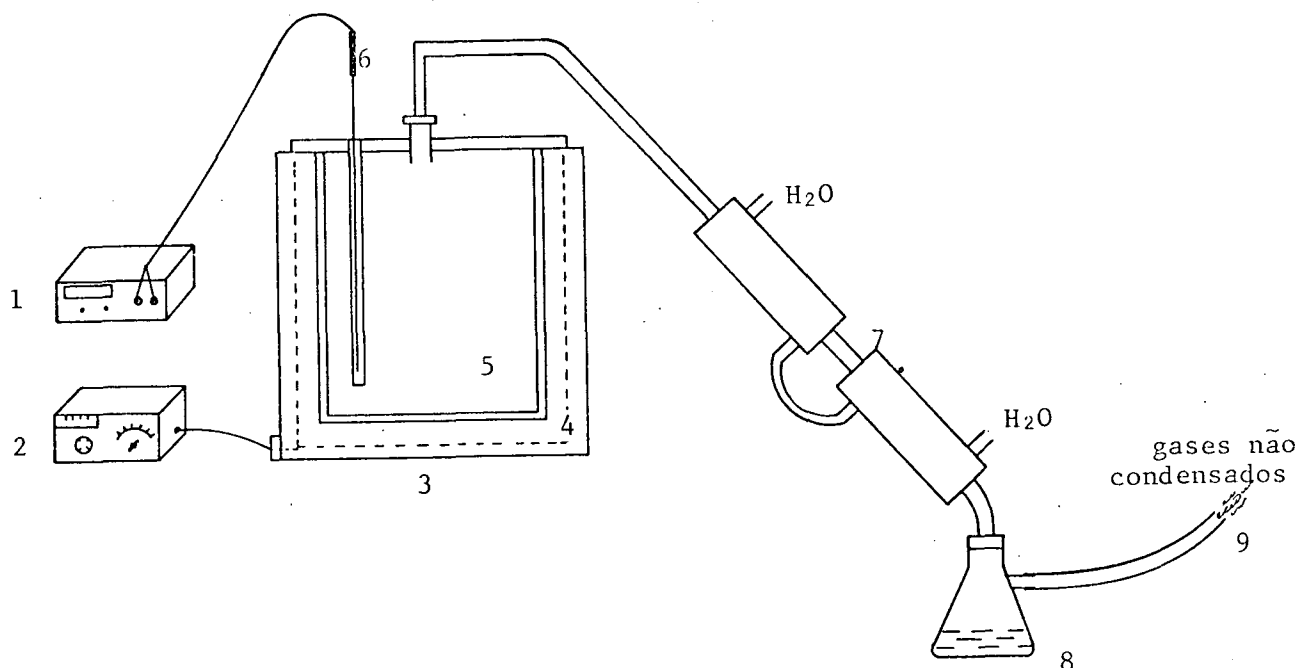
O equipamento utilizado para carbonização de madeira foi uma retorta elétrica, a qual foi construída baseado em um modelo existente no setor de química da Universidade Federal do Paraná. Este modelo é formado por um forno e a retorta propriamente dita. O forno é revestido de material galvanizado e possui uma parte interna com espessa parede de refratário sendo localizadas as resistências elétricas em espiral, nas laterais e na base. A capacidade total da resistência é de 1.600 Watts. As dimensões do forno são 30 cm de diâmetro e 25 cm de altura. A parte interna, ou a retorta propriamente dita, é um cilindro de ferro com dimensões de 10 cm de diâmetro e 18 cm de altura.

O cilindro de ferro possui uma tampa com sistema de rosca para o fechamento. Nesta tampa há uma conexão interna com um tubo de cobre para a colocação do termopar do termômetro digital, e um orifício central. Este orifício central é para saída dos gases e foi acoplado uma tubulação para ligar o sistema duplo de condensadores, para coletar os líquidos condensáveis, e uma sequência de tubos que formam a chaminé.

O controle da temperatura é auxiliado por um regulador de voltagem ligado às resistências elétricas e possui várias escalas com a finalidade de facilitar a operação.

A Figura 10 mostra o desenho esquemático do sistema montado para a operação de carbonização da madeira.

Figura 10 - CROQUÍIS DO SISTEMA DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA.



- 1 - Termômetro digital
- 2 - Regulador de voltagem
- 3 - Forno
- 4 - Resistência elétrica
- 5 - Retorta
- 6 - Termômetro
- 7 - Sistema de condensadores
- 8 - Depósito do líquido condensado
- 9 - Escape dos gases

3.5 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL

3.5.1 Rendimentos em peso na base seca

Os rendimentos em peso na base seca foram calculados com relação ao carvão, gases não condensáveis e líquido condensado.

3.5.1.1 Rendimento em peso do carvão - O rendimento em peso do carvão expressa a relação entre o peso do carvão e o peso da madeira seca. O cálculo foi feito para cada uma das repetições, e para isto foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Rc = \frac{Pc}{Pms} \times 100 (\%),$$

onde:

Rc : rendimento em peso do carvão na base seca (%);

Pc : peso do carvão (g);

Pms: peso da madeira seca (g).

3.5.1.2 Rendimento em peso dos gases não condensáveis - o rendimento em peso dos gases não condensáveis expressa a relação entre o peso dos gases não condensáveis e o peso da madeira seca. Para cada repetição, primeiramente foi calculado o peso dos gases não condensáveis, através da seguinte fórmula:

$$Pg = Pmu - (Pc + Pl),$$

onde:

Pg : peso dos gases não condensáveis (g);

Pmu: peso da madeira úmida (g);

Pc : peso do carvão (g);

Pl : peso do líquido condensado (g).

Em seguida foi aplicada a seguinte fórmula para o rendimento em peso dos gases não condensáveis:

$$Rg = \frac{Pg}{Pms} \times 100 (\%),$$

onde,

Rg : rendimento em peso dos gases não condensáveis (%);

Pg : peso dos gases não condensáveis (g);

Pms: peso da madeira seca (g).

3.5.1.3 Rendimento em peso do líquido condensado - O rendimento em peso do líquido condensado expressa a diferença dos rendimentos em peso do carvão e rendimento em peso dos gases não condensáveis, de um total de 100%. Para o cálculo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Rl = 100 - (Rc + Rg) (\%),$$

onde:

Rl: rendimento em peso do líquido condensado (%);

Rc: rendimento em peso do carvão (%);

Rg: rendimento em peso dos gases não condensáveis (%).

3.5.2 Peso específico básico do carvão

O peso específico básico do carvão é a razão entre o peso seco do carvão e volume úmido desta amostra de carvão. A metodologia aplicada foi a mesma utilizada na determinação do peso específico básico da madeira citado no item 3.3. A fórmula aplicada foi:

$$Pe_C = \frac{Ps}{Vu} \quad (g/cm^3),$$

onde:

Pe_C: peso específico básico do carvão (g/cm³);

Ps : peso seco do carvão (g);

Vu : volume saturado do carvão (cm³).

3.5.3 Poder calorífico superior

O poder calorífico do carvão expressa a quantidade de energia ou calor produzido pela incineração completa de 1 (um) quilo de carvão, sem levar em conta o calor necessário para evaporar a água formada durante a combustão do hidrogênio e a umidade do carvão. As fórmulas uti-

lizadas no cálculo foram:

$$PC = \frac{Ww (T_m + C_t - T_o) - B}{G}$$

$$C_t = M \cdot \bar{Y} - (\bar{Y} + \bar{X}) \cdot F,$$

onde:

PC: poder calorífico superior do carvão (Kcal/kg);

Ww: equivalente de água do calorímetro (3.500g);

T_m: temperatura final do teste principal (°C);

C_t: correção de temperatura pela troca de calor do calorímetro com o meio (°C);

M : tempo de duração do teste principal (minutos);

\bar{Y} : média da variação de temperatura no pós-teste (°C);

\bar{X} : média da variação de temperatura no pré-teste (°C);

F : fator da variação da temperatura (F=1 se a temperatura do primeiro minuto do teste principal é maior que no segundo minuto; F=1,25 se as temperaturas forem praticamente iguais; F=1,50 se ocorrer o contrário da primeira situação);

T_o: temperatura inicial do teste principal (°C);

B : calor liberado pela fusão do arame de ignição (1 cm do arame = 0,7 calorias);

G : peso da amostra de carvão (g).

Foi utilizada uma bomba de combustão do calorímetro "Julius Peters", a qual é baseada no método de Berthelot que consiste da combustão em um ambiente fechado com a presença de oxigênio e sob pressão. A metodologia é baseada na norma ASTM D 240-50, com uma adaptação para o peso da amostra de carvão que foi de aproximadamente 0,50 gramas, retirada do material classificado segundo a referida norma.

As amostras foram colocadas em uma cápsula de combustão em contato direto ao arame de ignição de 7 centímetros de comprimento. Depois do cilindro fechado foi colocado uma carga de oxigênio sob uma pressão de 30 bar. No início da operação foi realizado um controle, de modo que a diferença da temperatura da água interna do calorímetro fosse superior apenas em 1^oC da temperatura da água do recipiente onde é depositado a bomba de combustão. Realizou-se um pré-teste com as anotações das respectivas temperaturas, e depois de estabilizadas, foi dado a ignição com o acompanhamento da elevação da temperatura. O teste principal é caracterizado desde a ignição até uma nova estabilização da temperatura. Após esta estabilização as leituras compreendem o pós-teste.

3.5.4 Análise química imediata

A finalidade da análise química imediata do carvão é quantificar os teores de umidade na base úmida, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. Para estas quantificações é recomendada a norma ASTM D 1762-64 "Chemical Analysis of Wood Charcoal".

Foi realizado a análise química imediata do carvão de cada uma das repetições dos tratamentos. Para a análise foi retirado aleatoriamente 2 amostras do carvão produzido em cada carbonizada. As amostras foram moídas e classificadas de maneira que separou-se a fração que passou na peneira de 20 malhas (850µm) "U.S.Tyler" e foi retida na peneira de 100 malhas (150µm).

3.5.4.1 Umidade - O teor de umidade empregado na análise química imediata do carvão é expressa na base úmida, e para o seu cálculo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$U = \frac{P_u - P_s}{P_u} \times 100 (\%),$$

onde:

U : teor de umidade na base úmida (%);

P_u: peso úmido da amostra (g);

P_s: peso seco da amostra (g).

Para a determinação do teor de umidade foi utilizado uma amostra com peso aproximado de 1 (uma) grama, representando o peso úmido da amostra, retirada da fração classificada no item 3.5.4. A amostra foi colocada em um cadinho de porcelana de peso conhecido e levado para uma estufa com temperatura de 103±2°C e deixado por um tempo de 2 horas. Após este tempo, o material foi colocado em dessecador para o esfriamento e se evitar absorção de umidade. Posteriormente se obteve o peso seco da amostra em balança analítica com precisão de 0,001 g.

3.5.4.2 Materiais voláteis - O teor de materiais voláteis expressa a quantidade de voláteis ainda presente no carvão. A fórmula utilizada no cálculo foi:

$$M_v = \frac{P_s - P_a}{P_s} \times 100 (\%),$$

onde:

M_v: teor de materiais voláteis (%);

P_s: peso seco da amostra (g);

P_a: peso da amostra após sua permanência à temperatura de 950°C.

Na determinação do teor de materiais voláteis foi utilizada a mesma amostra com peso seco conhecido (P_s) empregada no cálculo do teor de umidade. O cadinho com a amostra de carvão foi colocado na mufla à temperatura de 950°C, de modo que deixou-se por 2 minutos na extremidade externa da tampa, 3 minutos

na borda da mufla e 6 minutos no interior com a mufla fechada. Após este tempo, o cadinho foi retirado e colocado em dessecador para o devido esfriamento e posterior pesagem.

3.5.4.3 Cinzas - O teor de cinzas representa a quantidade de resíduos minerais resultante da combustão completa do carvão. A fórmula utilizada no cálculo foi:

$$C = \frac{Pb}{Ps} \times 100 (\%),$$

onde:

C : teor de cinzas (%);

Pb: peso da amostra após sua permanência à temperatura de 750°C (g);

Ps: peso seco da amostra (g).

Foi utilizada a mesma amostra das análises anteriores, com o peso seco conhecido (Ps). O cadinho sem tampa com a amostra foi colocado em uma mufla à temperatura de 750°C durante um tempo de 6 horas para a calcinação. Após este tempo o material foi colocado no dessecador para o esfriamento, sendo posteriormente pesado para a obtenção do Pb.

3.5.4.4 Carbono fixo - O teor de carbono fixo representa a massa amorfa de carbono permanecido no carvão após a carbonização. Para a determinação foi utilizada a seguinte relação:

$$CF = 100 - (U + MV + C) (\%),$$

onde:

CF: teor de carbono fixo (%);

U : teor de umidade (%);

MV: teor de materiais voláteis (%);

C : teor de cinzas (%).

3.6 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Para a análise dos resultados utilizou-se o delineamento completamente ao acaso com tratamentos fatoriais. A razão da escolha se deu pela uniformidade apresentada nos diâmetros da madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), o que resulta um controle das variabilidades entre as áreas onde foram localizadas as parcelas. Como as unidades de amostras foram médias por hectare, envolveu-se todas as variabilidades do referido município de Patos, no estado da Paraíba.

Foi utilizado um número de 9 tratamentos, discriminados quanto aos fatores temperatura final de carbonização e tempo de permanência à estas temperaturas. A seguir são apresentados os referidos tratamentos.

T₁ : Temperatura de 400^oC e tempo de 20 minutos.

T₂ : Temperatura de 550^oC e tempo de 20 minutos.

T₃ : Temperatura de 700^oC e tempo de 20 minutos.

T₄ : Temperatura de 400^oC e tempo de 40 minutos.

T₅ : Temperatura de 550^oC e tempo de 40 minutos.

T₆ : Temperatura de 700^oC e tempo de 40 minutos.

T₇ : Temperatura de 400^oC e tempo de 60 minutos.

T₈ : Temperatura de 550^oC e tempo de 60 minutos.

T₉ : Temperatura de 700^oC e tempo de 60 minutos.

Para cada tratamento foi utilizado o número de 4 repetições por tratamento, e 10 corpos de prova em cada uma das repetições.

Anterior à análise de variância foi realizado o teste de homogeneidade de variâncias através do teste de Bartlett (χ), ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\chi^2 = \frac{2,3026\{\sum (ni-1) \cdot \log. \bar{s}^2 - \sum (ni-1) \cdot \log. si^2\}}{1 + \frac{1}{3(K-1)} \cdot \left[\sum \frac{1}{ni-1} - \frac{1}{\sum (ni-1)} \right]}$$

onde:

ni : número de repetições por tratamento i ;

\bar{s}^2 : média das variâncias;

si^2 : variância de cada tratamento i ;

K : número de variâncias testadas;

concluindo-se que

se χ^2 calculado $\leq \chi^2$ tabelado (0,05), aceita-se a hipótese de nulidade, as variâncias são homogêneas;

se χ^2 calculado $> \chi^2$ tabelado (0,05), rejeita a hipótese de nulidade, as variâncias não são homogêneas, necessita de transformação de dados.

O esquema do delineamento utilizado é apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - ESQUEMA DO DELINEAMENTO EM FUNÇÃO DOS FATORES TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO E TEMPOS DE PERMANÊNCIA A ESTAS TEMPERATURAS.

		Temperatura (A).			
		a1 (400°C)	a2 (550°C)	a3 (700°C)	Σ
Tempo (B)	b1 (20')	y11 y12 y13 y14 } Y1.	y21 y22 y23 y24 } Y2.	y31 y32 y33 y34 } Y3.	y.1 y.2 y.3 y.4
	b2 (40')	y41 y42 y43 y44 } Y4.	y51 y52 y53 y54 } Y5.	y61 y62 y63 y64 } Y6.	y.1 y.2 y.3 y.4
	b3 (60')	y71 y72 y73 y74 } Y7.	y81 y82 y83 y84 } Y8.	y91 y92 y93 y94 } Y9.	y.1 y.2 y.3 y.4

As variáveis de resposta consideradas na análise de variância expressa na base seca foram:

- rendimento em peso de carvão vegetal (%);
- rendimento em peso de líquido condensado (%);
- rendimento em peso dos gases não condensáveis (%);
- peso específico básico (g/cm^3);
- poder calorífico superior (KJ/Kg);
- teor de materiais voláteis (%);
- teor de carbono fixo (%);
- teor de cinzas (%).

O Quadro 7 apresenta as fontes de variações obtidas em cada uma das análises. A metodologia é baseada em STEEL & TORRIE⁴².

Quadro 7 - QUADRO DA ANOVA COM AS FONTES DE VARIAÇÃO E OS GRAUS DE LIBERDADE.

Fonte de variação	Graus de liberdade
Tratamentos	$(t-1) = 8$
Temperatura (A)	$(a-1) = 2$
Tempo (B)	$(b-1) = 2$
Interação temperatura x tempo	$(a-1) \cdot (b-1) = 4$
Erro experimental	$t(r-1) = 27$
Total	$(tr-1) = 35$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados utilizados nos cálculos das análises de variância (ANOVA) apresentaram homogeneidade de variâncias, os quais foram testados pelo teste de Bartlett ao nível de 5% de probabilidade. Concluindo-se portanto, a aplicabilidade da análise de variância.

4.1 PESO ESPECÍFICO BÁSICO DA MADEIRA

A metodologia para o cálculo do peso específico básico da madeira foi citada no item 3.3. Foi utilizado o número de 4 corpos de prova para cada uma das 10 parcelas locadas no campo, o que totalizou um número de 40 amostras. A média obtida para o peso específico básico da madeira foi de $0,91 \text{ g/cm}^3$, com coeficientes de variação de 5,98% e amplitude variando de 0,84 a $1,00 \text{ g/cm}^3$. O peso específico da madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis* Benth) é considerado alto, apresentando também pequena amplitude de variação.

4.2 RENDIMENTO EM PESO DE CARVÃO

As médias do rendimento em peso de carvão para os tratamentos são apresentadas a seguir:

Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (N $^{\circ}$)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (%)	48,83	45,62	43,41	42,53	38,40	37,14	35,87	34,77	34,20

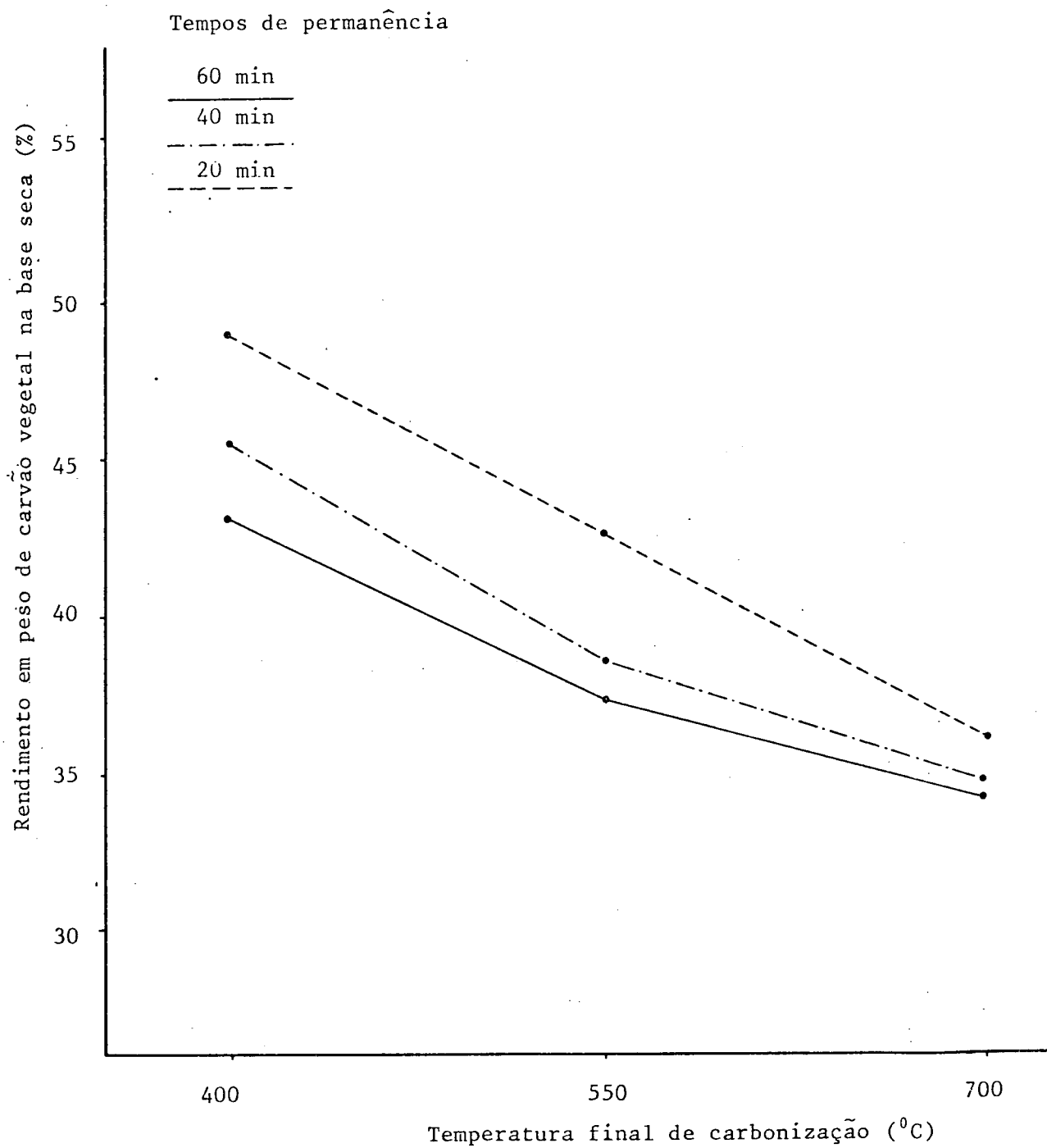
A Figura 11 apresenta a tendência do comportamento do rendimento em peso do carvão na base seca em relação à temperatura final de carbonização e aos tempos de permanência à estas temperaturas. Observa-se uma redução no rendimento em peso de carvão com o aumento das temperaturas e dos tempos de permanência às mesmas. Esta redução no rendimento para o tempo de 20 minutos, em todas as temperaturas teve um comportamento uniforme, mas para os tempos de 40 e 60 minutos, o efeito na diminuição do rendimento em peso foi mais acentuado entre as temperaturas de 400 e 550°C.

A redução no rendimento em peso se deve ao fato do aumento na temperatura provocar perda de massa pela decomposição dos constituintes químicos do material, e este efeito é mais acentuado nas temperaturas baixas. Fato este constatado por ALMEIDA¹, porém não se observou a tendência de estabilização no rendimento em peso para as temperaturas praticadas, segundo o preconizado pelo mesmo autor. A relação do efeito da temperatura final de carbonização e a diminuição do rendimento em peso de carvão está também de acordo com OLIVEIRA et alii³², DUPONT, G.* , citado por RAMALHO³⁶, HARRIS¹⁷ e POHL, W.** , citado por WENZL⁴⁷.

* DUPONT, G. Bulletin de l'Institut du pin, jan/fev/março, 1931. citado por RAMALHO³⁶. Carvões vegetais para gasogênios. Ministério da Economia. Comissão Reguladora do Comércio de Carvoes, Lisboa, 1943/45. 110 p.

** POHL, W. in Ullmann, "Enzyklopadie der techn. chemie", Urban & Schwarzenberg, Munchen-Berlin, 1957. Vol.8, 585p., citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press. 1970. 692 p.

Figura 11 - RENDIMENTO EM PESO DE CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



Apesar da tendência apresentada para o rendimento em peso de carvão na base seca corresponder ao observado pelos autores acima, salienta-se que os rendimentos em peso de carvão encontrados para a madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), foram bem superiores aos encontrados por OLIVEIRA et alii³¹ para a madeira de *Eucalyptus grandis* estudada nas mesmas condições de temperatura. Assim, pode-se afirmar que a Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) apresentou excelente rendimento em peso de carvão.

À medida que se eleva o tempo de permanência às temperaturas finais de carbonização, observa-se um decréscimo no rendimento em peso de carvão. Para a temperatura de 400⁰C, a diferença no rendimento em peso de carvão entre os tempos de 20, 40 e 60 minutos é mais acentuada que o apresentado para a temperatura de 700⁰C. Este comportamento induz à concluir que o aumento da temperatura final de carbonização diminui o efeito do tempo de permanência sobre o rendimento em peso de carvão, como observado por NANASSY & FUNG²⁷ ao analisar a perda de massa relacionada à temperatura e tempos de permanência, e em parte por SLOCUM et alii⁴⁰. Na temperatura final de carbonização de 550⁰C entre os tempos de permanência de 20 e 40 minutos, esta afirmação não pode ser comprovada.

A análise de variância dos rendimentos em peso do carvão é apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PERCENTAGENS DOS RENDIMENTOS EM PESO DE CARVÃO NA BASE SECA.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	864,96	108,12	117,39**
Tempo (A)	2	108,10	54,05	58,68**
Temperatura (B)	2	736,16	368,08	399,65**
Interação (A).(B)	4	20,69	5,17	5,62**
Erro experimental	27	24,86	0,92	
Total	35			

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os valores obtidos para F, indica que os tratamentos, os fatores tempo e temperatura e suas interações são significativas ao nível de 1% de probabilidade.

O comportamento das médias dos tratamentos para o rendimento em peso de carvão, expresso em percentagem, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_1	\bar{T}_4	\bar{T}_7	\bar{T}_2	\bar{T}_5	\bar{T}_8	\bar{T}_3	\bar{T}_6	\bar{T}_9
(48,83)	(45,62)	(43,41)	(42,53)	(38,40)	(37,14)	(35,87)	(34,77)	(34,20)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não diferem estatisticamente através do teste de DUNCAN para o nível de 1% de probabilidade. Pelo comportamento das médias dos rendimentos em peso de carvão, observa-se que para temperaturas bem elevadas,

caso específico de 700°C, o tempo de permanência à temperatura final não provocou efeito significativo no rendimento. Para temperatura de 400°C o tempo de permanência de 60 minutos causa uma redução no rendimento em peso de maneira semelhante a temperatura de 550°C com o tempo de 20 minutos, o mesmo efeito é observado para os respectivos tempos de permanência nas temperaturas de 550 e 700°C.

Os resultados de rendimento em peso de carvão obtidos para cada uma das repetições dos tratamentos são apresentados no Anexo 5.

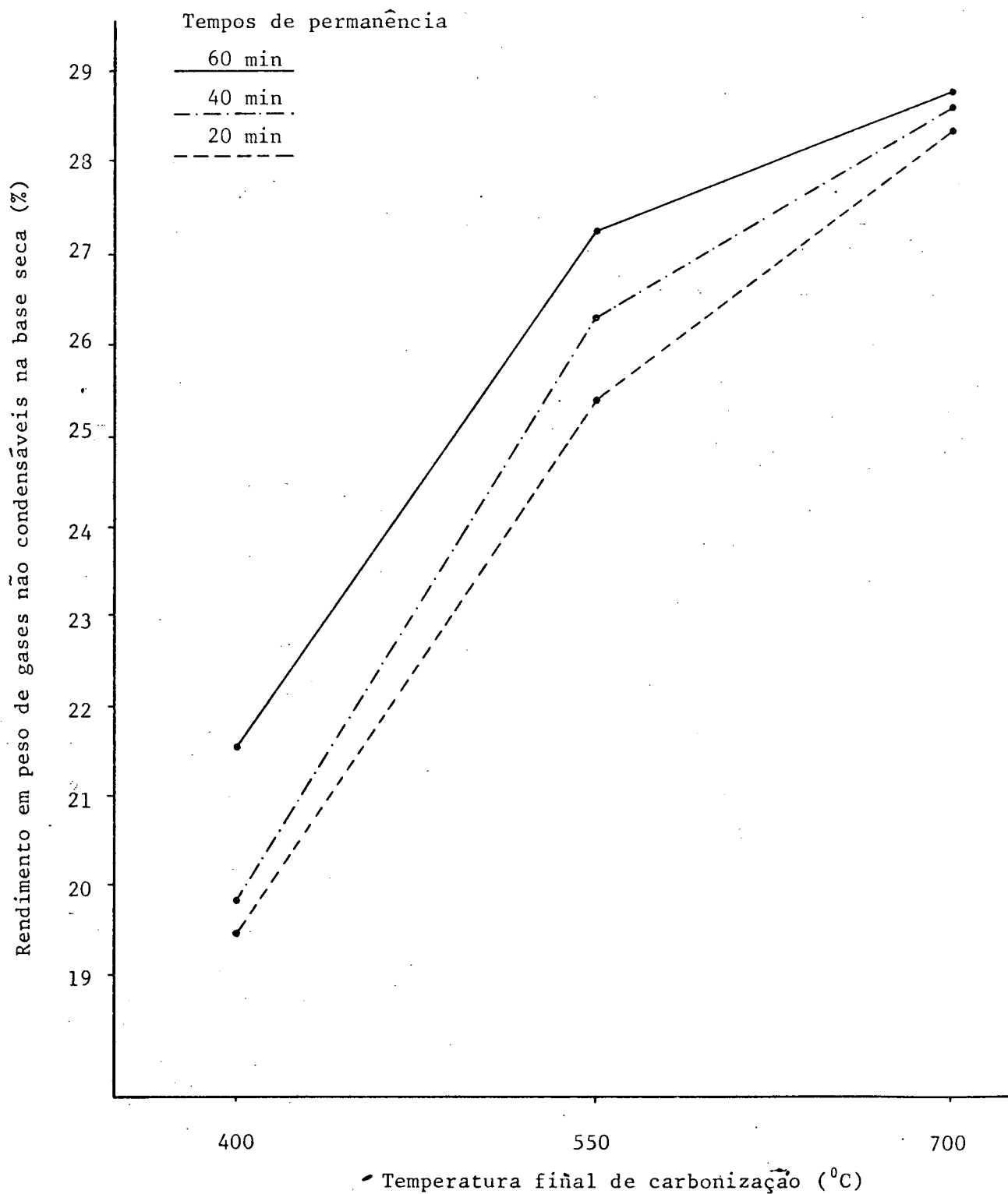
4.3 RENDIMENTO EM PESO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS

As médias do rendimento em peso dos gases não condensados são apresentados a seguir.

Temperaturas (°C)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (nº)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (%)	19,36	19,67	21,47	25,33	26,27	27,16	28,29	28,57	28,67

A Figura 12 apresenta um acréscimo no rendimento em peso dos gases não condensáveis com o aumento para as temperaturas finais de carbonização e para os tempos de permanência a estas temperaturas. Observa-se que entre as temperaturas de 400 e 550°C o acréscimo no rendimento em gases não condensáveis é mais acentuado que entre as temperaturas de 550 e 700°C.

Figura 12. - RENDIMENTO EM PESO DE GASES NÃO CONDENSÁVEIS, NA BASE SECA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



O comportamento encontrado confirma os resultados observados por ALMEIDA¹ e POHL, W.*, citado por WENZL⁴⁷, onde os mesmos justificam este efeito em razão do aumento da temperatura facilitar a dissociação do carvão com a liberação de gases, e que parte do próprio carvão pode vir a ser gaseificado. No entanto, não foi encontrado em literatura maiores detalhes onde esclareça se este incremento no rendimento em peso dos gases seria constante com o aumento da temperatura final de carbonização.

O rendimento em peso de gases não condensáveis para a madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) foi praticamente o mesmo constatado para madeira de *Eucalyptus grandis* por OLIVEIRA et alii³¹.

O Quadro 9 apresenta a análise de variância para os rendimentos em gases não condensáveis na base seca.

Quadro 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PERCENTAGENS DOS RENDIMENTOS EM PESO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS NA BASE SECA.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	463,30	57,91	31,30*
Tempo (A)	2	12,73	6,36	3,44*
Temperatura (B)	2	446,01	223,00	120,54*
Interação (A).(B)	4	4,55	1,38	0,74 ^{ns}
Erro experimental	27	50,07	1,85	
Total	35			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* POHL, W. In Ullmann, "Enzyklopadie der techn. chemie". Urban & Schwarzenberg, Munchen-Berlin, 1957. vol.8, 585 p., citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press, 1970. 692 p.

Conforme os valores para F na análise de variância, os tratamentos e os fatores tempo e temperatura foram significativos ao nível de 5% de probabilidade. Porém a interação dos fatores tempo e temperatura não foi significativo ao nível de probabilidade considerada.

O comportamento das médias dos tratamentos para o rendimento em peso de carvão, expresso em porcentagem, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_9	\bar{T}_6	\bar{T}_3	\bar{T}_8	\bar{T}_5	\bar{T}_2	\bar{T}_7	\bar{T}_4	\bar{T}_1
(28,67)	(28,57)	(28,29)	(27,16)	(26,27)	(25,33)	(21,47)	(19,67)	(19,36)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não se diferem estatisticamente através do teste DUNCAN para o nível de 1% de probabilidade. Constata-se que para uma mesma temperatura final de carbonização quando analisados individualmente, o tempo de permanência às mesmas não ocasiona efeito significativo no aumento do rendimento em peso dos gases não condensáveis. Para a temperatura de 550°C os tempos de permanência mais prolongados de 40 e 60 minutos resultaram em um efeito similar no aumento do rendimento em peso dos gases não condensáveis ao apresentado para a temperatura final de carbonização de 700°C nos diferentes tempos de permanência considerados.

Os valores individuais obtidos para o rendimento em peso dos gases não condensáveis das repetições dos tratamentos são apresentados no Anexo 5.

4.4 RENDIMENTO EM PESO DE LÍQUIDO CONDENSADO

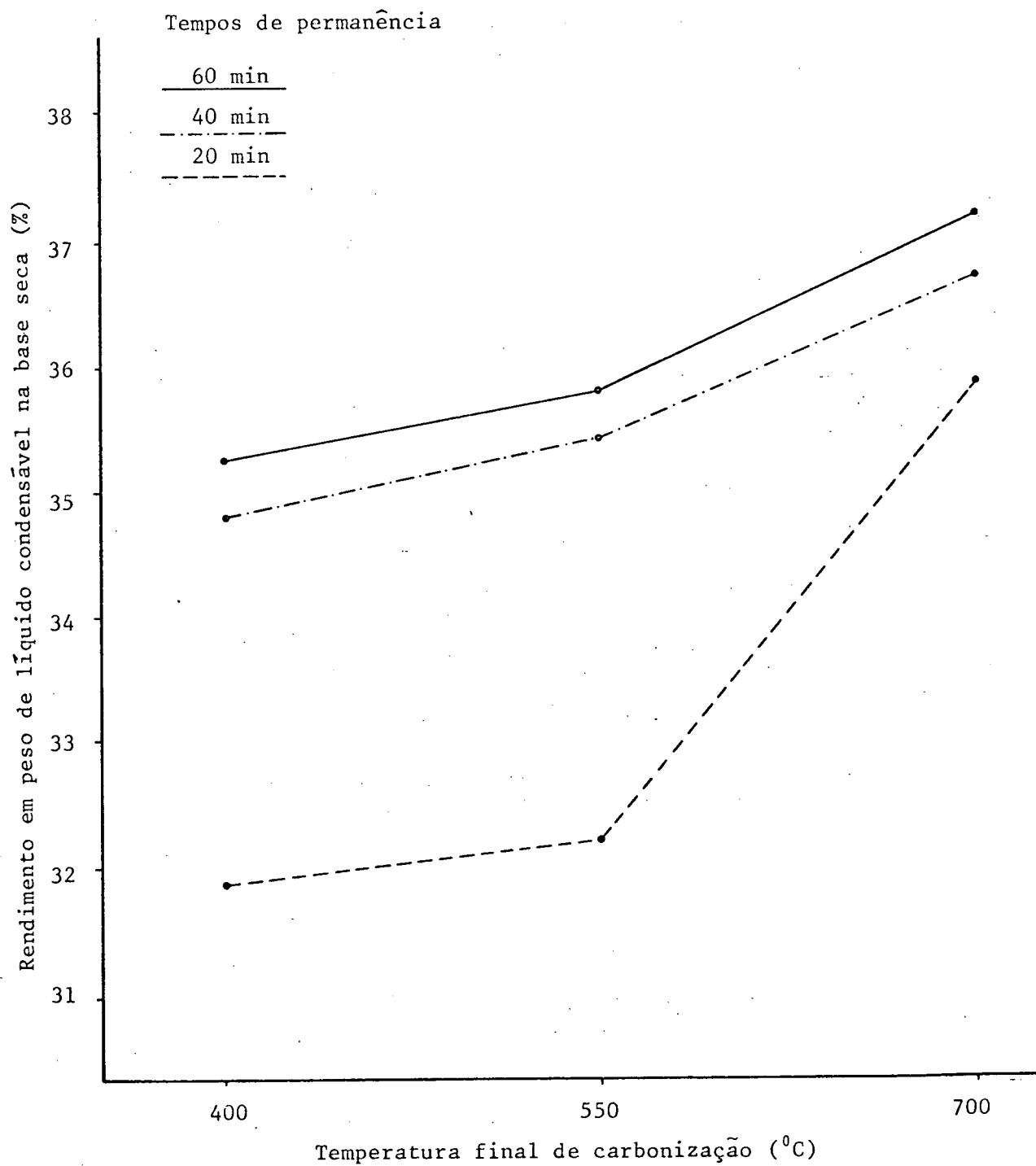
As médias do rendimento em peso de líquido condensado para os tratamentos são apresentadas a seguir.

Temperaturas (°C)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (nº)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (%)	31,80	34,69	35,12	32,15	35,33	35,70	35,83	36,66	37,12

O rendimento em peso de líquido condensado na base seca aumenta com os respectivos aumentos de temperatura final de carbonização e dos tempos de permanência a estas temperaturas, conforme é apresentado na Figura 13. O efeito do tempo de permanência nas temperaturas consideradas é pequeno sobre o aumento do rendimento em peso de líquido condensado. Para os tempos de 40 e 60 minutos, observa-se uma uniformidade deste efeito em todas as temperaturas. No entanto, para o tempo de 20 minutos, esta uniformidade não é constatada para as temperaturas finais de carbonização de 400 e 550°C, o que se deve aos baixos valores de rendimento em peso líquido condensado encontrados nestas duas temperaturas.

Os valores encontrados para o rendimento em peso de líquido condensado para a madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), foram baixos, quando comparado com a madeira de *Eucalyptus grandis* carbonizada nas mesmas condições de temperatura, citado por OLIVEIRA et alii³¹.

Figura 13 - RENDIMENTO EM PESO DE LÍQUIDO CONDENSÁVEL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



A análise de variância para os rendimentos de líquido condensado na base seca é apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PERCENTAGENS DOS RENDIMENTOS EM PESO DE LÍQUIDO CONDENSADO NA BASE SECA.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	108,04	13,50	4,13**
Tempo (A)	2	51,50	25,75	7,87**
Temperatura (B)	2	47,98	23,99	7,34**
Interação (A).(B)	4	8,56	2,14	0,65 ^{ns}
Erro experimental	27	88,33	3,27	
Total	35			

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns Não significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Com os resultados apresentados na análise de variância para os valores de F, observa-se que tanto os tratamentos como os fatores tempo e temperatura são altamente significativos, mas a interação entre os dois fatores não foi significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O comportamento das médias dos tratamentos para o rendimento em peso de líquido condensado, expresso em percentagem, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_9	\bar{T}_6	\bar{T}_3	\bar{T}_8	\bar{T}_5	\bar{T}_7	\bar{T}_4	\bar{T}_2	\bar{T}_1
(37,12)	(36,66)	(35,83)	(35,70)	(35,33)	(35,12)	(34,69)	(32,15)	(31,80)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não apresentam diferenças significativas através do teste DUNCAN para o nível de 1% de probabilidade. O efeito do aumento no rendimento em peso de líquido condensado provocado pelos tempos de permanência mais prolongados de 40 e 60 minutos nas temperaturas de 400 e 550°C não apresentaram diferenças significativas comparados ao aumento do rendimento decorrido do aumento da temperatura final de carbonização para 700°C, bem como do aumento do tempo de permanência a esta temperatura. Para o comportamento do rendimento em peso de líquido condensado ocorrido no tempo de permanência de 20 minutos nas temperaturas de 400 e 550°C, não se tem uma justificativa para o ocorrido.

No Anexo 5 é apresentado os valores obtidos para o rendimento em peso de líquido condensado para cada uma das repetições dos tratamentos.

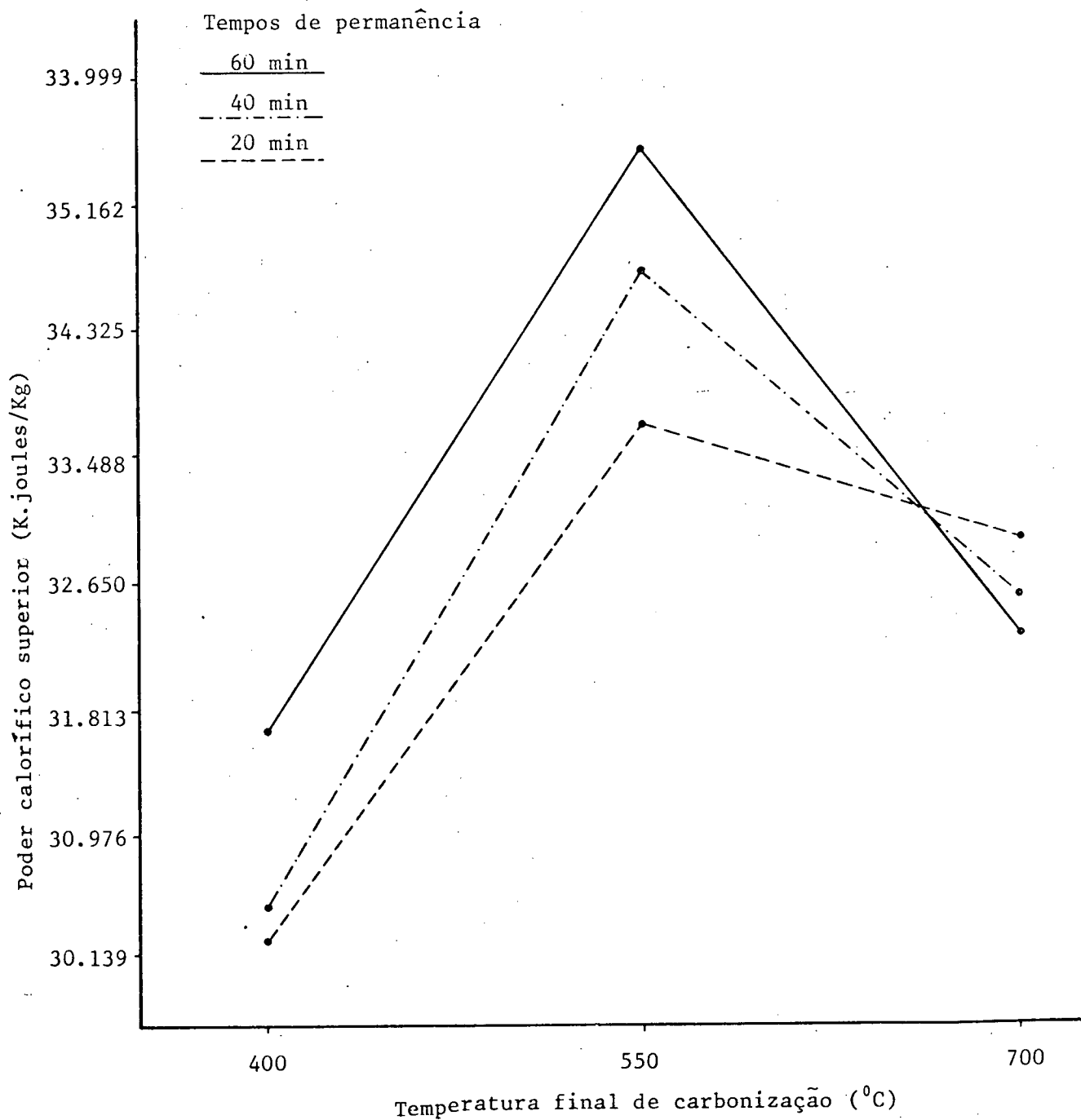
4.5 PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO

As médias do poder calorífico superior do carvão para os tratamentos são apresentadas a seguir.

Temperaturas (C°)	400			550			700		
Tempos (Minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (N°)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (KJ/Kg)	30.275	30.413	31.602	34.209	34.765	35.547	33.162	32.605	32.378

A Figura 14 apresenta a tendência do comportamento do poder calorífico superior do carvão vegetal em função da temperatura final de carbonização e do tempo de permanência a estas temperaturas. Observa-se que o poder calorífico superior do carvão aumentou com a elevação da temperatura no intervalo de 400 à 550°C e posteriormente veio a decrescer até a temperatura final de carbonização de 700°C.

Figura 14 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



Os resultados confirmam as observações de outros autores como MENDES²⁵, SATONAKA³⁷ e DUPOND*, citado por RAMALHO³⁶, mas contraria as informações de BAILEYS & BLANKENHORN². Observa-se que somente o teor de carbono fixo do carvão, analisado individualmente, não permite concluir que o aumento do teor de carbono fixo resultante da elevação da temperatura final de carbonização seja o único responsável pelo aumento do poder calorífico. Esta afirmação basea-se no diferencial existente entre as calorias fornecidas pelo carbono e hidrogênio, esclarecido por EARL¹⁴, onde na reação de combustão de 1 (uma) grama de carbono produz 7,9 Kcal ou 33,07 KJ, e 1 (uma) grama de hidrogênio produz 34,0 Kcal ou 142,32 KJ. Se aplicarmos os valores acima na composição química elementar do carvão mostrado no Quadro 3 do item 2.4.1.2, para 1 (um) quilograma de carvão, obter-se-ã valores do potencial acumulado para o poder calorífico por constituição química em diferentes temperaturas de carbonização, os quais são apresentados no Quadro 12.

* DUPOND, G. Bulletin de L'Institut du pin, jan/fev/março, 1931. Citado por RAMALHO³⁶. Carvões vegetais para gasogênios. Ministério da Economia. Comissão Reguladora do Comércio de Carvões, Lisboa. 1943/45. 110 p.

Quadro 11 - PODER CALORÍFICO PRODUZIDO NA REAÇÃO DE COMBUSTÃO DE 1 (UM) QUILOGRAMA DE CARVÃO BASEADO NO PERCENTUAL DE SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR RELATIVO À CARBONO E HIDROGÊNIO.

Temperatura de carbonização (°C)	Peso de carbono em 1 (um) Kg de carvão (g)	Peso de hidrogênio em 1 (um) Kg de carvão (g)	Poder calorífico produzido em 1 (um) Kg de carvão (KJ)
200	523	63	26.262
300	732	49	31.181
400	827	39	32.755
500	896	31	34.040
600	926	26	34.321
800	958	10	33.102
1000	966	5	32.655

Baseado no Quadro 12, constata-se que o poder calorífico do carvão atinge um valor máximo entre as temperaturas de carbonização de 500 - 600°C, e este valor está relacionado também à composição e quantidade de materiais voláteis ainda presentes no carvão. Assim o efeito verificado quanto a temperatura final de carbonização está relacionado com a composição química do carvão produzido.

O aumento do tempo de permanência entre as temperaturas finais de carbonização de 400 e 550°C proporcionou um aumento no valor do poder calorífico superior do carvão, apresentando uma relativa uniformidade do efeito. Entre as temperaturas de 550 e 700°C, o efeito do tempo de permanência sobre o poder calorífico superior não é conclusivo, pois observou-se que próximo à temperatura de 700°C ocorreu uma inversão do efeito do tempo de permanência no poder calorífico superior do carvão. Não foi cons-

tatado na literatura pertinente o efeito do tempo de permanência à temperatura final de carbonização no poder calorífico superior do carvão.

A análise de variância para o poder calorífico superior do carvão expresso em KJ/Kg na base seca é apresentada no Quadro 11.

Quadro 12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	$1,092 \times 10^{20}$	$1,365 \times 10^{20}$	89,83**
Tempo (A)	2	$2,500 \times 10^{18}$	$1,250 \times 10^{18}$	8,22**
Temperatura (B)	2	$1,000 \times 10^{20}$	$5,000 \times 10^{19}$	329,03**
Interação (A).(B)	4	$6,700 \times 10^{18}$	$1,675 \times 10^{18}$	11,02**
Erro experimental	27	$4,103 \times 10^{18}$	$1,519 \times 10^{17}$	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Com base nos valores de F encontrados na análise de variância, os tratamentos, os fatores tempo e temperatura e suas interações são significativos ao nível de 1% de probabilidade.

O comportamento das médias dos tratamentos para o poder calorífico superior do carvão, expresso em KJ/Kg, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_8	\bar{T}_5	\bar{T}_2	\bar{T}_3	\bar{T}_6	\bar{T}_9	\bar{T}_7	\bar{T}_4	\bar{T}_1
(35.547)	(34.765)	(34.209)	(33.162)	(32.605)	(32.378)	(31.602)	(30.413)	(30.275)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não se diferem estatisticamente pelo teste DUNCAN para o nível de 1% de probabilidade. Observa-se que ocorre um máximo valor para o poder calorífico superior do carvão na temperatura de 550°C, e o valor obtido à 700°C é maior que na temperatura de 400°C. Para a temperatura de 700°C, o tempo de permanência não provocou efeito significativo na variação do poder calorífico superior do carvão, o mesmo não acontecendo para as temperaturas finais de carbonização de 400 e 550°C.

Os valores originais de cada uma das repetições dos tratamentos são apresentados no Anexo 6.

4.6 PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO

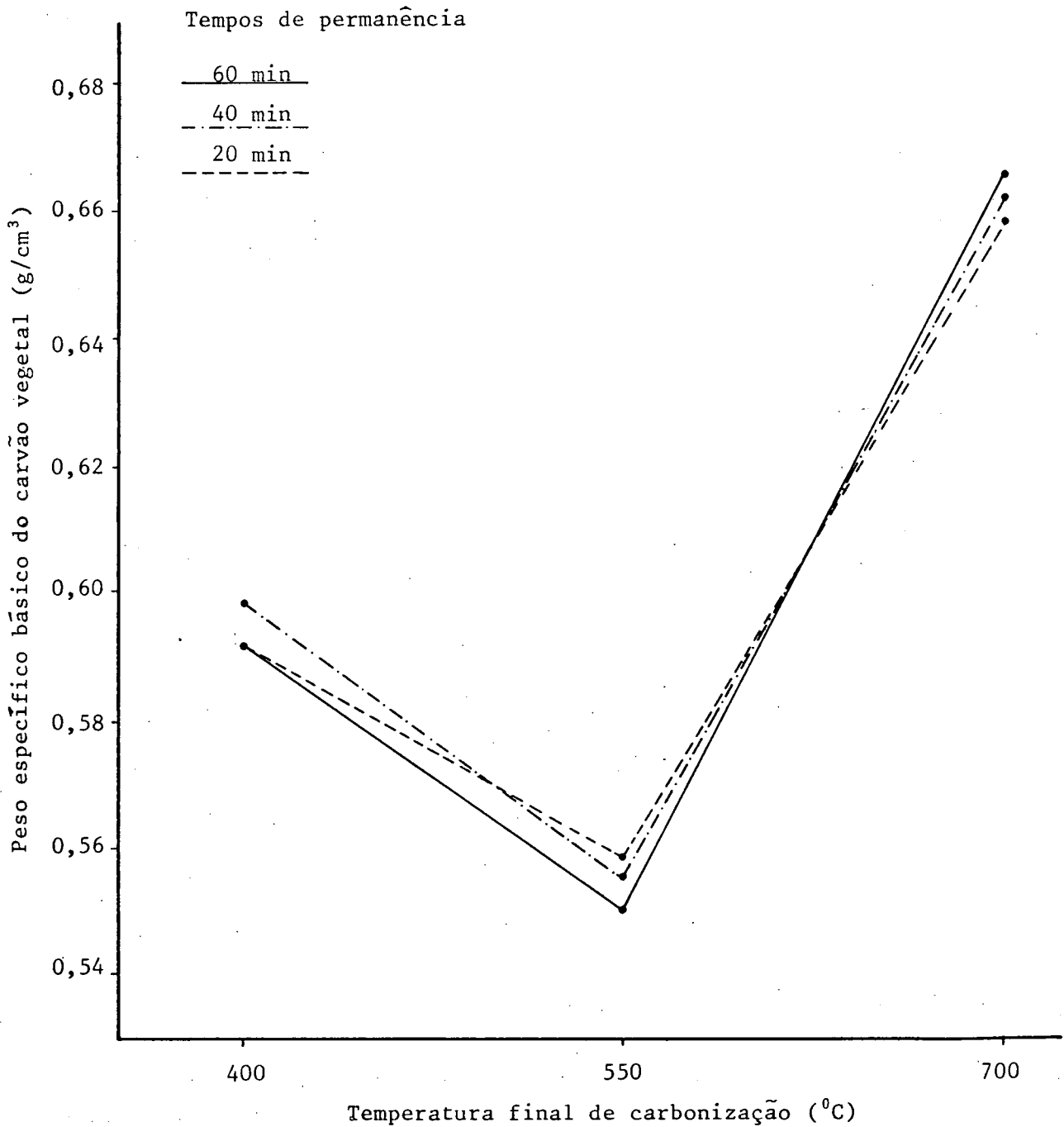
As médias do peso específico básico do carvão para os tratamentos são apresentadas a seguir.

Temperaturas (°C)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (nº)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (g/cm ³)	0,597	0,605	0,597	0,562	0,560	0,555	0,662	0,667	0,670

A Figura 15 apresenta a tendência do comportamento do peso específico básico do carvão vegetal em função da temperatura final de carbonização e do tempo de permanência às mesmas. Observa-se que há uma redução no valor do peso específico básico com a elevação da temperatura entre 400 e 550°C. Entre as temperaturas finais de carbonização de 550 e 700°C, ocorre uma elevação do valor do peso específico básico do carvão com a elevação da temperatura. Assim, dentre as temperaturas estudadas foi constatado um valor mínimo para o peso específico na tempe-

ratura de 550^oC. Os resultados apresentados para o carvão de Jurema Preta (*Mimosa hostilis* Benth), encontra-se de acordo com o comportamento de outras espécies mostrado por SLOCUM et alii⁴⁰ e MENDES et alii²⁵, isto é, a ocorrência de um valor mínimo para o peso específico do carvão entre as temperaturas de 500 e 600^oC. A razão deste fato está condicionada à perda de massa e variações dimensionais ocorridas no carvão com a elevação da temperatura final de carbonização, de modo que a perda de massa até a temperatura de 500^oC não é acompanhada com a mesma proporcionalidade pela variação dimensional.

Figura 15 - PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO VEGETAL, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



Quanto ao tempo de permanência à temperatura final de carbonização, não foi constatado efeito significativo na variação do peso específico básico do carvão. À este respeito, a literatura apresenta uma variação no peso específico básico do carvão somente com tempos de permanência bem prolongados.

O valor encontrado para o peso específico básico do carvão de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), foi superior ao obtido por MENDES et alii²⁵ para o carvão de *Eucalyptus grandis*.

A análise de variância para o peso específico básico do carvão na base seca é apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO NA BASE SECA.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	0,0710	0,008875	30,29**
Tempo (A)	2	0,0	0,0	0,0 ^{ns}
Temperatura (B)	2	0,0708	0,035400	120,82**
Interação (A).(B)	4	0,0002	0,000050	0,17 ^{ns}
Erro Experimental	27	0,0079	0,000293	
Total	35			

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns Não significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Segundo os valores de F na análise de variância, os tratamentos e o fator temperatura são significativos, porém o fator tempo de permanência e a interação entre os fatores não foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

O comportamento das médias dos tratamentos para o peso específico básico do carvão, expresso em g/cm^3 , é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_9	\bar{T}_6	\bar{T}_3	\bar{T}_4	\bar{T}_1	\bar{T}_7	\bar{T}_2	\bar{T}_5	\bar{T}_8
(0,670)	(0,667)	(0,662)	(0,605)	(0,597)	(0,597)	(0,562)	(0,560)	(0,555)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não diferem estatisticamente pelo teste DUNCAN para o nível de 1% de probabilidade. Em observação ao comportamento das médias dos tratamentos constata-se um menor valor para o peso específico básico do carvão na temperatura de 550°C , e o valor à 700°C é maior que a temperatura de 400°C . Não foi detectado efeito significativo do tempo de permanência à temperatura final de carbonização no peso específico básico do carvão.

O Anexo 7 apresenta os resultados obtidos em cada uma das repetições dos tratamentos.

4.7 ANÁLISE QUÍMICA DO CARVÃO

4.7.1 Teor de materiais voláteis

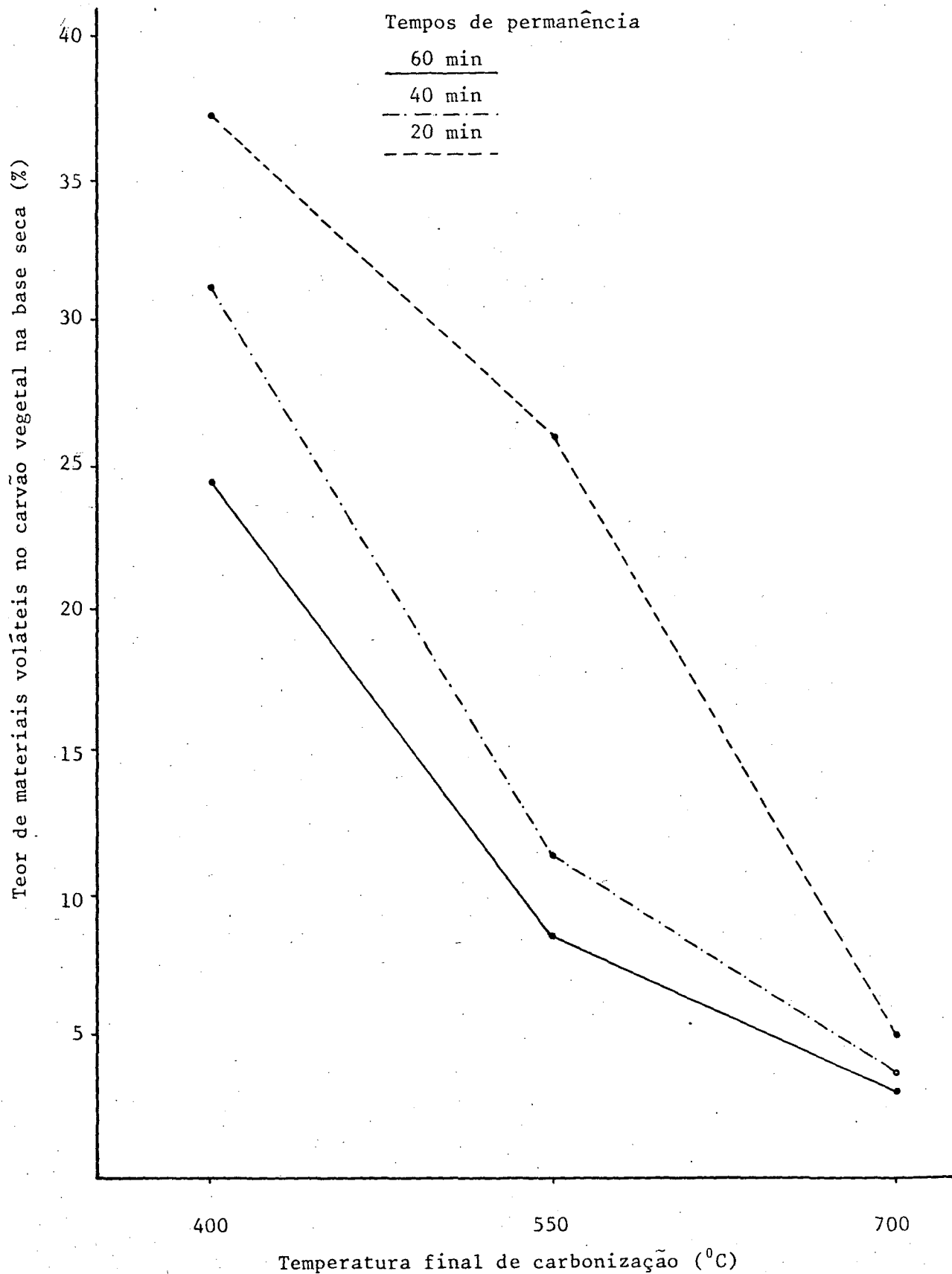
As médias do teor de materiais voláteis para os tratamentos são apresentadas a seguir.

Temperaturas ($^\circ\text{C}$)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (nº)	T_1	T_4	T_7	T_2	T_5	T_8	T_3	T_6	T_9
Médias (%)	37,62	31,31	24,49	26,55	11,53	8,33	4,97	3,77	3,01

A Figura 16 apresenta a tendência do comportamento do teor de materiais voláteis no carvão com o aumento da temperatura final de carbonização e dos tempos de permanência a estas temperaturas. O teor de materiais voláteis entre as temperaturas finais de carbonização de 400 e 700°C sofreu uma variação média em torno de 25%, restando na temperatura de 700°C aproximadamente 5% de materiais voláteis no carvão, estando de conformidade com UHART⁶, que menciona que a partir de 700°C, a quantidade de gases a serem retirados do carvão é muito pequena. Segundo ALMEIDA¹, LAXAMANA²² e OLIVEIRA et alii³¹, ocorre uma diminuição no teor de materiais voláteis do carvão com a elevação da temperatura final de carbonização; esta afirmação, associada aos presentes resultados, permite afirmar que o comportamento do teor de materiais voláteis no carvão é inversamente proporcional ao observado para o teor de carbono fixo com a elevação da temperatura final de carbonização. Para a temperatura de 400°C, o efeito do tempo de permanência na diminuição do teor de materiais voláteis apresenta um percentual em torno de 5% entre os mesmos. Na temperatura de 700°C o percentual de variação do teor de materiais voláteis entre os tempos de permanência apresenta em termos médios 1% de variação. Conclui-se assim, que o efeito do tempo de permanência na redução do teor de materiais voláteis é mais acentuado para a temperatura de 400°C. A razão deste comportamento é provavelmente devido ao pequeno tempo de permanência à temperatura não propiciar a saída de gases do interior do carvão.

O comportamento desigual apresentado para o tempo de 20 minutos à 550°C, provavelmente seja decorrente do observado para o rendimento líquido condensado no mesmo tratamento, uma vez que ambos são relacionados.

Figura 16 - TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS NO CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



A análise de variância para a percentagem de materiais voláteis contido no carvão, expressos na base seca, é apresentado no Quadro 14.

Quadro 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE MATERIAIS VOLÁTEIS DO CARVÃO NA BASE SECA.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	5.591,01	698,88	1.027,76**
Tempo (A)	2	770,42	385,21	526,78**
Temperatura (B)	2	4.480,81	2.240,40	3.294,70**
Interação (A).(B)	4	339,78	84,95	124,93**
Erro experimental	27	18,28	0,68	
Total	35			

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Baseado nos valores de F obtidos na análise de variância, observa-se que os tratamentos, os fatores tempo e temperatura e suas interações são significativos ao nível de 1% de probabilidade.

O comportamento das médias dos tratamentos para o teor de materiais voláteis no carvão, expresso em percentagem, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_1	\bar{T}_4	\bar{T}_2	\bar{T}_7	\bar{T}_5	\bar{T}_8	\bar{T}_3	\bar{T}_6	\bar{T}_9
(37,62)	(31,31)	(26,55)	(24,49)	(11,53)	(8,33)	(4,97)	(3,77)	(3,01)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade segundo o teste DUNCAN.

Para a temperatura final de carbonização de 700°C não houve diferença significativa entre os tempos de permanência de 20 e 40 minutos e entre os tempos de 40 e 60 minutos, para o valor das médias do teor de materiais voláteis no carvão. Para os demais tratamentos, a temperatura final de carbonização e tempos de permanência às mesmas provocaram efeito significativo na redução do teor de materiais voláteis do carvão.

Os dados de cada repetição dos tratamentos realizados no presente trabalho quanto ao teor de materiais voláteis são apresentados no Anexo 8.

4.7.2 Teor de carbono fixo

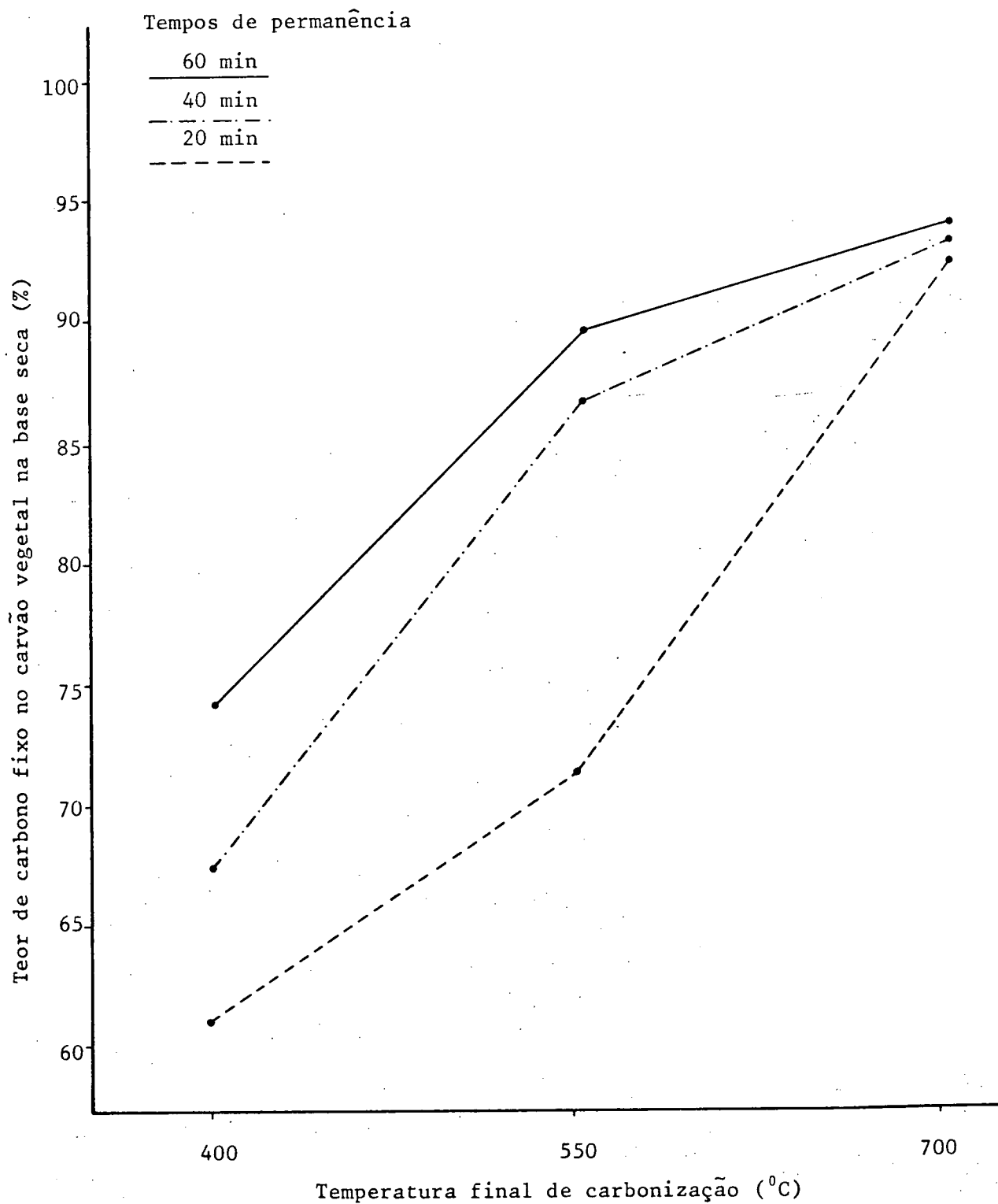
As médias do teor de carbono fixo no carvão para os tratamentos são apresentadas a seguir.

Temperaturas (°C)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (nº)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (%)	61,37	67,68	74,00	71,44	86,47	89,65	92,04	93,22	93,97

Na Figura 17 observa-se que o teor de carbono fixo no carvão aumenta com a elevação da temperatura final de carbonização. Este comportamento é descrito por ALMEIDA¹, que justifica o efeito devido ao maior consumo de hidrogênio e oxigênio que o carbono, na formação de compostos como monóxido e dióxido de carbono e hidrocarbonetos, o que pode ser melhor observado segundo o Quadro 3 apresentado por POHL*, citado por WENZL⁴⁷.

* POHL, W. In Ullmann, "Enzyklopadie der techn. chemie". Urban & Schwarzenberg, Munchen-Berlin, 1957. Vol.8, 585 p., citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press, 1970. 692 p.

Figura 17 - TEOR DE CARBONO FIXO NO CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



O tempo de permanência também participa no efeito da elevação do teor de carbono fixo do carvão, da seguinte maneira: quanto maior o tempo de permanência, maior é a percentagem de carbono fixo. Observa-se que este efeito é mais acentuado para a temperatura de 400°C que para a temperatura de 700°C. Os tempos de permanência de 40 e 60 minutos apresentaram uma uniformidade quanto ao efeito da elevação do teor de carbono fixo, mas o tempo de 20 minutos teve um comportamento atípico para a temperatura de 550°C, o que também já foi constatado por ocasião da análise do rendimento em peso de líquido condensado.

Conforme as médias apresentadas para o teor de carbono fixo, observa-se que os valores aumentam rapidamente com a elevação da temperatura de carbonização e alcança valor quase constante para os diferentes tempos de permanência à temperaturas de 700°C, o que vem em parte confirmar o esperado por BERGESTROM*, citado por WENZL⁴⁷.

A análise de variância para a percentagem dos teores de carbono fixo no carvão na base seca é apresentado no Quadro 15.

* BERGESTROM, H. Produkter ur tra. Vol.VIII, Stockholm, 1954. Citado por WENZL⁴⁷. The chemical technology of wood. New York. Academic press. 1970. 692 p.

Quadro 15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE CARBONO FIXO NO CARVÃO VEGETAL NA BASE SECA.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	4.999,31	624,91	1.487,88**
Tempo (A)	2	749,10	374,55	891,78**
Temperatura (B)	2	3.906,02	1.953,00	4.650,00**
Interação (A).(B)	4	344,20	86,05	204,88**
Erro experimental	27	11,46	0,42	
Total	35			

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Conforme os valores de F na análise de variância, os tratamentos, os fatores tempo e temperatura e suas interações são significativos ao nível de 1% de probabilidade.

O comportamento das médias dos tratamentos para o teor de carbono fixo, expresso em percentagem, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_9	\bar{T}_6	\bar{T}_3	\bar{T}_8	\bar{T}_5	\bar{T}_7	\bar{T}_2	\bar{T}_4	\bar{T}_1
(93,97)	(93,22)	(92,04)	(89,65)	(86,47)	(74,00)	(71,44)	(67,68)	(61,37)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não diferem estatisticamente pelo teste DUNCAN ao nível de 1% de probabilidade. Constata-se que o aumento na temperatura final de carbonização e nos tempos de permanência às mesmas resultaram em uma elevação do teor de carbono fixo do carvão. Para a temperatura de 700°C, não houve efeito significativo no aumento do teor

de carbono fixo entre os tempos de permanência de 20 e 40 minutos, e entre os tempos de 40 e 60 minutos. Contudo, as demais condições dos tratamentos provocaram efeito significativo na variação do teor de carbono fixo do carvão.

No Anexo 8 é apresentado os valores do teor de carbono fixo do carvão para cada uma das repetições dos tratamentos.

4.7.3 Teor de cinzas

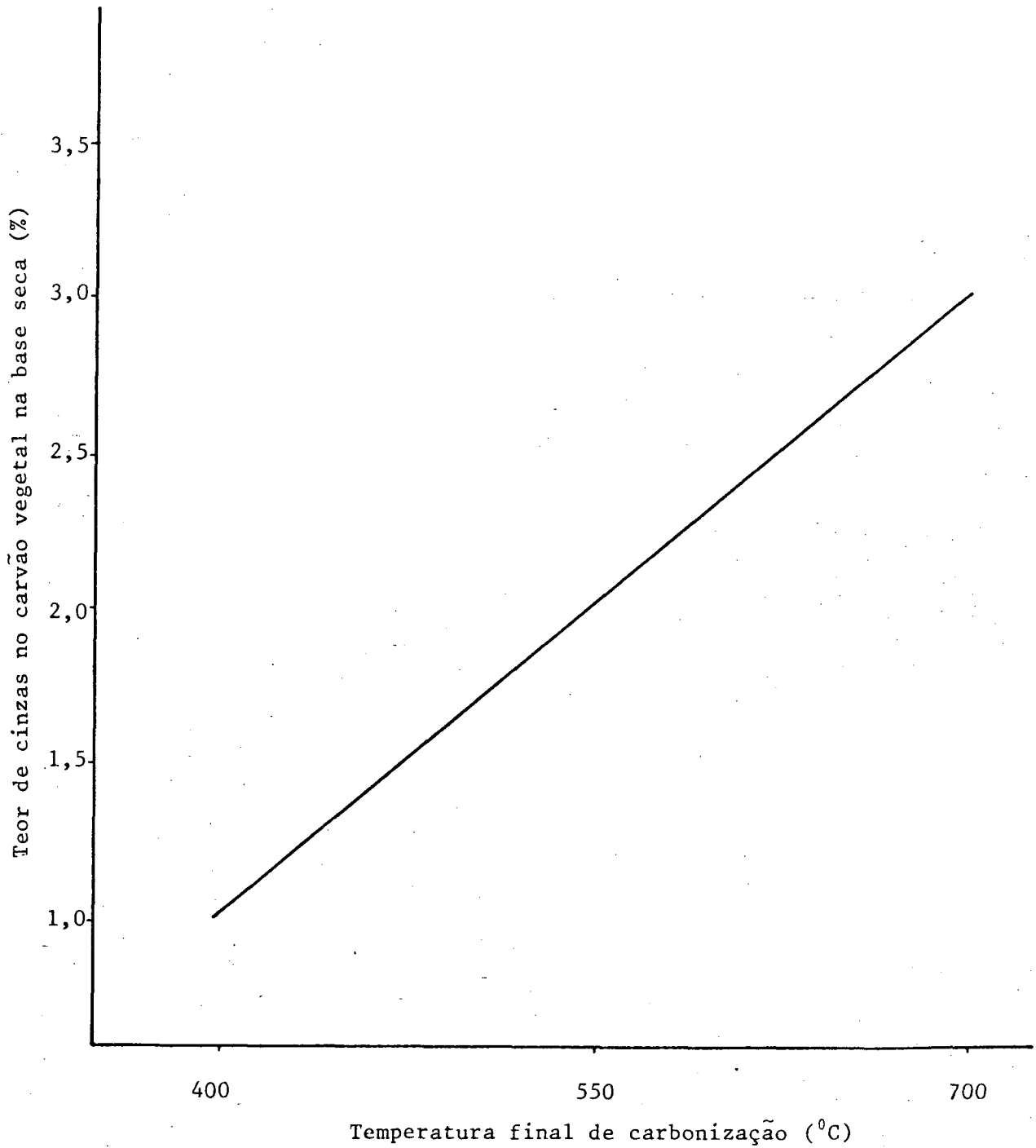
As médias do teor de cinzas do carvão para os tratamentos são apresentadas a seguir.

Temperaturas (°C)	400			550			700		
Tempos (minutos)	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Tratamentos (nº)	T ₁	T ₄	T ₇	T ₂	T ₅	T ₈	T ₃	T ₆	T ₉
Médias (%)	1,010	1,010	1,012	2,005	2,005	2,020	2,985	3,015	3,015

A Figura 18 apresenta a tendência do comportamento do teor de cinzas no carvão segundo a variação da temperatura final de carbonização e do tempo de permanência às mesmas. O teor de cinzas em percentagem aumentou com a elevação da temperatura de carbonização, contudo o tempo de permanência não influenciou no teor de cinzas do carvão.

Contudo, este efeito do percentual do teor de cinzas no carvão com a elevação da temperatura final de carbonização diverge dos resultados encontrados na literatura, onde HARRIS¹⁷ afirma que a temperatura de carbonização não altera o teor de cinzas no carvão e OLIVEIRA et alii³¹ que mostra um decréscimo no teor de cinzas com a elevação da temperatura de carbonização para *Eucalyptus grandis*.

Figura 18 - TEOR DE CINZAS NO CARVÃO VEGETAL, BASE SECA DA MADEIRA, EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



A quantidade de cinzas permanece praticamente constante na madeira, mas a porcentagem deste teor de cinzas no carvão varia com o aumento da temperatura final de carbonização. Este fato é explicado pela diminuição do rendimento em peso, perda de massa do material, com o aumento da temperatura, sem entretanto afetar a quantidade de cinzas originalmente presente na madeira.

O Quadro 16 apresenta a análise de variância para a porcentagem dos teores de cinzas no carvão na base seca.

Quadro 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE CINZAS NO CARVÃO.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamentos	8	23,88	2,985	8,076**
Tempo (A)	2	0,0	0,0	0,0 ns
Temperatura (B)	2	23,88	11,94	32,270**
Interação (A).(B)	4	0,0	0,0	0,0 ns
Erro experimental	27	0,01	0,00037	
Total	35			

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns Não significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os valores de F obtidos na análise de variância indicam que os tratamentos e o fator temperatura foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, mas o fator tempo e a interação dos fatores tempo e temperatura não foram significativos ao nível de probabilidade considerado.

O comportamento das médias dos tratamentos para o teor de cinzas do carvão, expresso em percentagem, é apresentado a seguir, segundo o teste DUNCAN.

\bar{T}_9	\bar{T}_6	\bar{T}_3	\bar{T}_8	\bar{T}_5	\bar{T}_2	\bar{T}_7	\bar{T}_4	\bar{T}_1
(3,015)	(3,015)	(2,985)	(2,020)	(2,005)	(2,005)	(1,012)	(1,010)	(1,010)

Os tratamentos seguidos pela mesma barra não diferem estatisticamente através do teste DUNCAN para o nível de 1% de probabilidade. Com o comportamento apresentado pelas médias dos teores de cinzas constata-se que o tempo de permanência à temperatura final de carbonização não provoca efeito significativo na variação do teor de cinzas no carvão.

O Anexo 8 apresenta os valores dos teores de cinzas em cada uma das repetições dos tratamentos.

4.8 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DO CARVÃO DE JUREMA PRETA (*Mimosa hostilis*, Benth) NO MUNICÍPIO DE PATOS-PB

Em caráter preliminar estabeleceu-se uma estimativa do potencial do carvão da madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) no município de Patos, estado da Paraíba.

Para a estimativa deste potencial foi necessário assumir hipótese sobre a % de cobertura vegetal da caatinga no município, pois não se possui dados de inventários. As hipóteses consideradas de 20, 30 e 40% de cobertura, sendo que a espécie ocorre nesta formação vegetal. E assumir, o corte de madeira em ciclos de 5 anos⁴⁵ e o rendimento médio em peso de carvão na

base seca de 40%.

Nestas áreas de ocorrência da espécie no município, onde se procedeu a coleta do material, avaliou-se o número e o peso de cada árvore na parcela, conforme descrito no item 3.2.2. Em cada parcela de 1.000 m² encontrou-se em média 21 indivíduos, com peso médio de 37 Kg por árvore.

O teor de umidade média da madeira verde, na base seca foi de 60%, conseqüentemente, o peso seco médio para cada árvore é de 24 Kg.

Estas estimativas permitem concluir que o peso seco total de madeira em cada parcela é de 504 Kg. Este valor extrapolado para uma área de 1 ha, proporciona um peso seco de madeira de aproximadamente 5 t.

Com base na área do município que é de 416 km², na produção anual de carvão vegetal do estado da Paraíba que no ano de 1981 foi de 29.131 t (FIBGE, 1983), e na relação de que 1,59 t de carvão corresponde a 1 tonelada equivalente de petróleo (1 TEP = 7 barris de petróleo), apresenta-se no Quadro 17 o potencial capaz de ser produzido pelo carvão de Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) no município de Patos, anualmente.

Quadro 17 - POTENCIAL CAPAZ DE SER PRODUZIDO ANUALMENTE PELO CARVÃO DE JUREMA PRETA (*Mimosa hostilis*, Benth) NO MUNICÍPIO DE PATOS.

Cobertura vegetal da caatinga no município (hipótese em%)	Peso de madeira seca. (t)	Carvão vegetal (t)	Participação na produção total do estado, com base no ano de 1981 (%)	Equivalente em TEP (t)	Equivalente em barris de petróleo (unidade)
20	8.320	3.328	11,42	2.093	14.651
30	12.480	4.992	17,14	3.140	21.980
40	16.640	6.656	22,85	4.186	29.302

Com as hipóteses estabelecidas para a cobertura vegetal da caatinga no município de Patos, conclui-se que a hipótese de 20%, o que corresponde a 0,15% da área total do estado, que é de 56.372 Km², pode suprir 11,42% da produção anual de carvão vegetal do estado da Paraíba, com base no ano de 1981. Para 30%, corresponde a 0,22% da área total, é capaz de produzir 17,14% da produção total de carvão, e na hipótese de 40% a participação na produção total do estado é de 22,85%, com apenas 0,30% da área total do estado da Paraíba.

5. CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- 1 - Uma das restrições de utilização da espécie é o pequeno porte, no entanto, a madeira possui boa qualidade em função do alto peso específico básico que é de $0,91\text{g/cm}^3$, o que a classifica como excelente madeira para carvão.
- 2 - O peso específico básico do carvão apresenta um alto valor, variando de $0,55$ à $0,67\text{ g/cm}^3$. Observa-se que a temperatura final de carbonização é a responsável pela amplitude de variação do peso específico, não sendo atribuído efeito do tempo de permanência. A tendência da temperatura final de carbonização é diminuir o peso específico básico entre as temperaturas de 400 e 550°C , e aumentar este valor entre as temperaturas de 550 e 700°C .
- 3 - O rendimento médio em peso de carvão independente das condições de carbonização, é elevado quando comparado com o rendimento de outras espécies. As condições de carbonização influenciam no rendimento em peso de carvão, observou-se que, tanto o aumento da temperatura final de carbonização, como do tempo de permanência às mesmas, provocam diminuição deste valor. O rendimento em peso também é influenciado pelo interativo das condições de carbonização. A tendência do fator tempo de permanência sobre a diminuição do rendimento é menos pronunciada à temperatura de 700°C que à tem-

peratura de 550°C e 400°C. O comportamento do rendimento em peso de carvão, de modo geral, condiz ao esperado em razão dos fatores temperatura e tempo de permanência provocarem a perda de massa do carvão.

- 4 - O valor do rendimento médio em peso de gases não condensáveis é considerado normal, comparado com a madeira de *Eucalyptus grandis*, carbonizada nas mesmas condições de temperatura. Observa-se que o efeito da temperatura no aumento do rendimento em peso de gases não condensáveis é maior que o efeito do tempo de permanência, não se constatando interação entre estes fatores. O efeito das condições de carbonização no aumento do rendimento dos gases não condensáveis é maior nas temperaturas mais baixas para os diferentes tempos de permanência. Este comportamento é esperado devido o aumento da temperatura ser o responsável pela retirada de gases do interior do carvão durante a carbonização.
- 5 - Os valores do rendimento médio em peso do líquido condensado, comparado com madeira de *Eucalyptus grandis*, carbonizada nas mesmas condições de temperatura, são considerados baixos, devido à característica da madeira e dos valores do rendimento em peso do carvão observado. Tanto o fator temperatura final de carbonização como o tempo de permanência, tiveram influência no rendimento em peso de líquidos condensáveis. A variação do rendimento em peso de líquido condensado para as temperaturas e tempos de permanência praticados, foi relativamente pequena, observando uma amplitude total de variação de aproximadamente 5%.

- 6 - O poder calorífico superior do carvão apresenta um valor pouco diferenciado com relação à outras espécies carbonizadas em condições semelhantes, e o valor apresenta um máximo à temperatura de 550^oC. Desta maneira conclui-se que o poder calorífico superior é também função do processo de carbonização, isto é, temperatura e tempo de permanência, havendo uma interação do efeito destas variáveis no seu valor. Observa-se um acréscimo no poder calorífico entre as temperaturas de 400 e 550^oC e um decréscimo entre as temperaturas de 550 e 700^oC. O efeito do tempo de permanência é diferenciado, tanto assim que o aumento do tempo de permanência entre as temperaturas de 400 e 550^oC resulta em um aumento no valor do poder calorífico superior do carvão, mas o efeito do tempo de permanência entre as temperaturas de 550 e 700^oC não é bem definido, uma vez que houve um ponto de interseção do efeito do tempo entre estas temperaturas. O teor de carbono fixo no carvão quando analisado individualmente não permite relacionar sua influência no poder calorífico superior do carvão, pois a proporção de cada elemento químico da composição deste carvão, obtida à diferentes temperaturas, é a principal responsável pelo comportamento do poder calorífico.
- 7 - Em termos gerais, observa-se uma diminuição na percentagem de materiais voláteis do carvão com o aumento da temperatura final de carbonização e com o aumento do tempo de permanência à temperatura final. Observa-se que o efeito do tempo de permanência sobre o teor de materiais voláteis é mais intenso na tempe-

ratura de 400°C que à 700°C.

- 8 - Com respeito ao teor de carbono fixo do carvão, o comportamento é inverso ao apresentado para materiais voláteis relativo à temperatura de carbonização, bem como para o tempo de permanência à cada uma destas temperaturas. A interação temperatura de carbonização e tempo de permanência apresenta um comportamento semelhante ao teor de materiais voláteis, isto é, o aumento do teor de carbono fixo é mais intenso à temperatura de 400°C que à 700°C.
- 9 - Pelo resultado apresentado, relativo ao teor de cinzas, permite-se a conclusão que a espécie estudada possui baixo teor de cinzas. Observa-se um aumento no teor de cinzas no carvão, com a elevação da temperatura de carbonização, não sendo constatada a influência do tempo de permanência à estas temperaturas. Os valores obtidos para o teor de cinzas à diversas temperaturas de carbonização não tem suporte da literatura pertinente, uma vez que as teorias conhecidas pregam um comportamento contrário ao observado.
- 10 - A estimativa do potencial de carvão no município de Patos, no estado da Paraíba, conforme as considerações estabelecidas, varia de 3.328 t à 6.656 t.

6. RECOMENDAÇÕES

Com base na experiência adquirida recomenda-se:

- 1 - Para uma melhor observação dos efeitos dos fatores temperatura final de carbonização e tempos de permanência sobre as propriedades do carvão vegetal, é recomendado em futuros trabalhos, utilizar-se um maior número de temperaturas bem como tempos de permanência mais prolongados.
- 2 - Seria necessário a realização de trabalhos que busquem uma adequação correta e definitiva com respeito à normalização do carvão vegetal, incluindo aspectos de terminologia, padronização, metodologia de testes e especificação.
- 3 - Com respeito ao comportamento do poder calorífico superior do carvão, é necessário um melhor conhecimento dos fatores que o condicionam, para se definir o real comportamento do poder calorífico com relação à diferentes temperaturas de carbonização.
- 4 - Devido à divergência na literatura do comportamento do teor de cinzas com a elevação da temperatura da carbonização, sugere-se uma maior atenção em trabalhos posteriores.
- 5 - A boa qualidade do carvão da madeira de Jurema Preta (*Mimosa hostilis* Benth), aliado às condições da região e disponibilidade da madeira, enfoca a importância da

necessidade de estudos quanto as possibilidades de utilização deste carvão.

- 6 - Para a determinação do potencial real do carvão da espécie, recomenda-se um inventário da região semi-árida do nordeste brasileiro, para assegurar políticas diretivas de sua utilização.
- 7 - Estudos referentes a aspectos silviculturais e de manejo, visando conhecer o comportamento da espécie Ju-
rema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth) na região semi-
árida.

SUMMARY

This study was carried out to evaluate the charcoal production using *Mimosa hostilis*, Benth (Jurema Preta) wood, and also to determine its potencial as an alternative source ou energy for the city of Patos, state of Paraíba. This specie is very frequent in region of the "caatinga" (type of vegetation), and its utilization is important to improve the low standard of life of the local population.

Charcoal was produced in a laboratory electrical retort at temperatures of 400, 550 and 700°C.

Three different times of carbonization (length of time at final temperature) were utilized: 20, 40 and 60 minutes. The warming-up time rate was 5°C/min for all treatments.

The folloing properties were analised: yeld (charcoal, condensed liquids and non condensable gazes), superior calorific value, specific gravity, volatile materials, fixed carbon and ash contend.

The charcoal yield was high in all conditions used. An increase in the temperature or/and in time resulted in a significant reduction in the yield.

The specific gravity varied between 0,55 and 0,67 g/cm³. The lower specific gravity was found for charcoal produced at 550°C and the highest value for material produced at 700°C. The time of carbonization did not effect significanty the specific

gravity.

Increasing the temperature from 400 to 550°C increased the calorific value, nevertheless a further increase to 700°C resulted in a decrease in the calorific value. An increase in the time of carbonization resulted in an increase of the calorific value when temperatures of 400 and 550°C were utilized. At a temperature of 700°C longer times induced a reduction of the calorific value.

Ash content increased with the temperature, but time of carbonization did not show any significant influence.

Fixed carbon content increased with temperature and time, and volatile materials presented reduction when temperature and time were increased.

Simulations carried out considering several hypotheses showed that *Mimosa hostilis*, Benth (Jurema Preta) wood is a very important source of energy for the state of Paraíba. It's estimate that the region of Patos can contribute in the worse case with approximately 11% of the total charcoal production of the state.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ALMEIDA, J.M. Efeito da temperatura sobre rendimento e propriedades dos produtos da carbonização de *Eucalyptus grandis*, W.Hill ex Maiden. Viçosa, 1983. 40 p.
- 2 - BAILEYS, R.T. & BLANKENHORN, P.R. Calorific and porosity in carbonized wood. Wood Science, 15 (1):19-28, july 1982.
- 3 - BEALL, F.C.; BLANKENHORN, P.R. & MOORE, G.R. Carbonized wood-physical properties and use as an SEM preparation. Wood Science, 6(3):212-219, jan. 1974.
- 4 - BEGLINGER, E. Charcoal production development. Double wall, masonry block, and other type kilns. Report forest products laboratory. U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service, 1958. p.26-33.
- 5 - BLANKENHORN, P.R.; BARNES, D.P.; KLINE, D.E. & MURPHY, W.K. Porosity and pore size distribution of black cherry carbonized in an inert atmosphere. Wood Science, 11 (1): 23-29, july 1978.
- 6 - BORGES, M.H. & COLOMBAROLI, W. Carvão vegetal: opção energética para a siderurgia dos países tropicais. Belo Horizonte, Florestal Acesita S/A, 1978.
- 7 - BRASIL, Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro, convênio M.A/EPE-SUDENE/D.R.N, 1972. 683 p. (Boletim técnico, equipe de pedologia e fertilidade de solo, n.15).
- 8 - BRASIL, Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. Aptidão agrícola das terras da Paraíba. Brasília, 1978. n.3. 89 p.

- 9 - BRITO, J.O. A madeira como fonte de energia já é uma realidade e não uma alternativa. Energia, 1 (4):34-35, set/out. 1979.
- 10 - CHARCOAL, Production, marketing and use. Report forest laboratory, U.S. Dep. of Agriculture-Forest Service, 2213, 1961. 137 p.
- 11 - COELHO, P.A. Estuário e lagunas do nordeste. In: Vasconcelos Sobrinho, J. As regiões do nordeste. O meio e a civilização. Recife, 1971. p. 49-60.
- 12 - CORREA, R.M. Dados econômicos e históricos da siderurgia a carvão vegetal. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 2. Belo Horizonte, 1979. ANAIS. Jornal dos Reflorestadores, São Paulo, 1979.
- 13 - D'OLIVEIRA, G.S.M. Tecnologia brasileira para explorar a formação de Irati. Energia, 1(2):49-56, maio/junho 1979.
- 14 - EARL, D.E. A report on charcoal. Roma, F.A.O., 1974. 97p.
- 15 - EARL, D.E. Forest energy and economic development. Oxford, Clarendon press, 1975. 128 p.
- 16 - ELIAS, C.A. Fabricação de carvão vegetal. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura-serviço de informação agrícola, 1961. 4 p.
- 17 - HARRIS, A.C. Charcoal production. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8. Jakarta, 1978. 15 p.
- 18 - JUVILLAR, J.B. Carvão vegetal, matéria prima energética. Industria e Produtividade, (137):23-26, jan/fev. 1980.
- 19 - KOLLMANN, F. Tecnologia de la madera y sus aplicaciones. Madrid, 1959. 675 p.
- 20 - KRYLA, J.M. Characteristics of carbonized wood affected by extraction. Wood Science, 13(1):18-25, july 1980.
- 21 - LANGE, F.M.Q. Perspectivas para o uso do carvão na industria. Energia, 1(4):32-33, set/out. 1979.
- 22 - LAXAMANA, N.B. Proximate chemical analyses of charcoal from some Philippine woods. Forpride Digest, 7(2/3): 48-53, jan/jun. 1980.

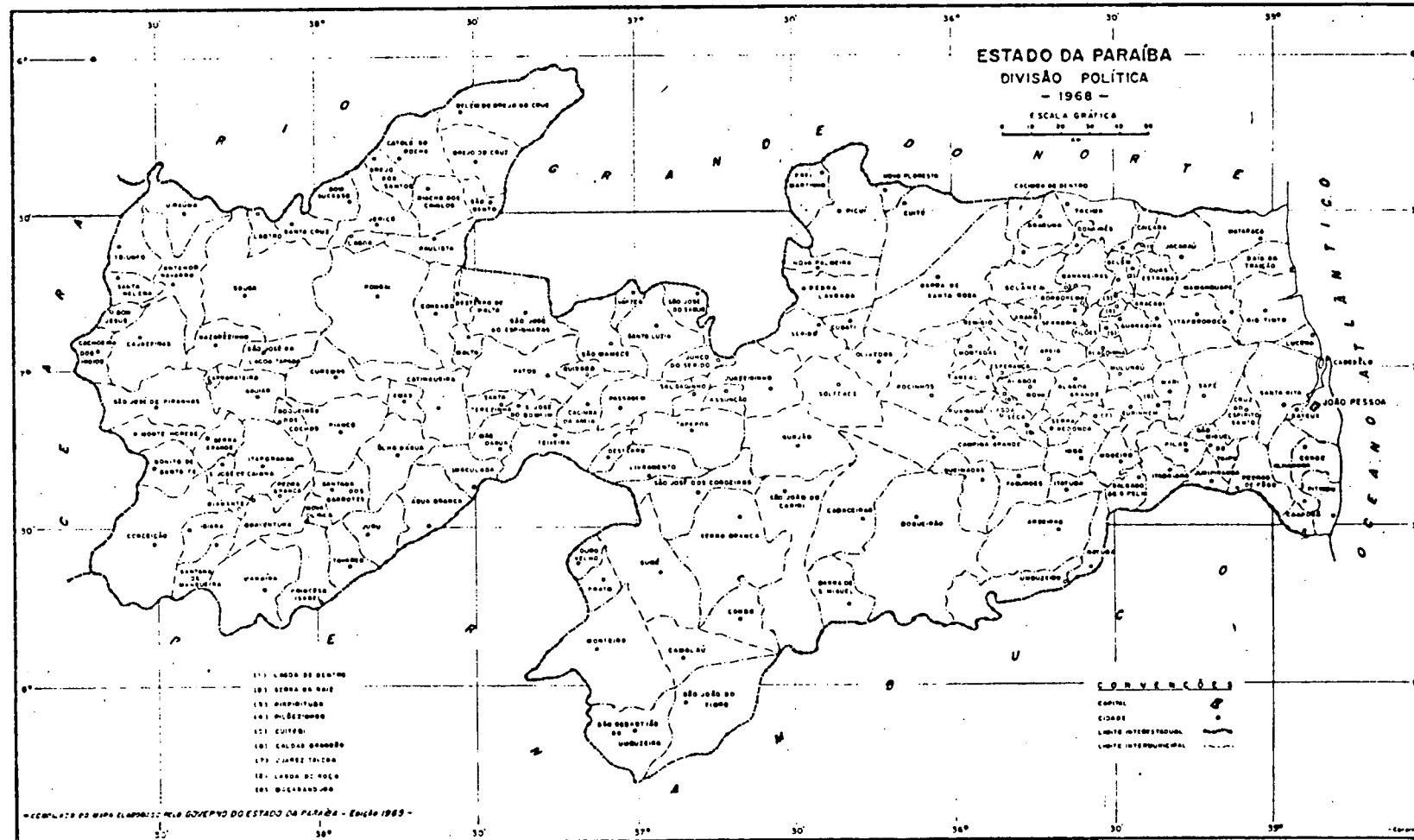
- 23 - MACHADO, M.A.A.C. Carvão vegetal: energia para a indústria brasileira. Silvicultura, 15:44-48, jan/fev. 1980.
- 24 - MELLO, M.G. A alternativa biomassa: A solução brasileira. Belo Horizonte, Florestal Acesita, 1979. 36 p.
- 25 - MENDES, M.G.; GOMES, P.A. & OLIVEIRA, J.B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: CETEC. Produção e utilidade do carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982, p. 75-90 (SPT-008).
- 26 - MOORE, G.R.; BLANKENHORN, P.R.; BEALL, F.C. & KLINE, D.E. Some physical properties of Birch carbonized in a nitrogen atmosphere. Wood and Fiber, 6(3):193-199, 1974.
- 27 - NANASSY, A.J. & FUNG, D.P.C. Pirolisis of studies by E.S.R. (electron spin resonance). Wood Science, 7(3):232-239, jan. 1975.
- 28 - NASTARI, P.M. Energia solar: hoje um projeto viável. Energia, 1(4)11-19, set/out. 1979.
- 29 - OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: CETEC. Carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982, p. 7-38 (SPT-006).
- 30 - OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R. Propriedades do carvão vegetal. In: CETEC. Carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982, p. 39-61 (SPT-006).
- 31 - OLIVEIRA, J.B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G. & GOMES, P.A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: CETEC. Carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982, p. 59-73 (SPT-008).
- 32 - OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R. Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria. In: CETEC. Carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982, p. 63-102 (SPT-006).
- 33 - PAULA, J.E. Espécies nativas com perspectivas energéticas. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos do Jordão - S.P., 1982. Edição especial de Silvicultura em São Paulo, 16-A(2):1259-1299, setembro, 1982.

- 34 - PETROFF, G. & DOAT, J. Pirolise des bois tropicaux; influence de la composition chimique de bois sur les produits de distillation. Revue Bois et des Tropiques, 177: 51-64, jan/fev. 1978.
- 35 - I Encontro sobre tecnologia dos óleos combustíveis. Energia, 2(11):7-96, nov/dez. 1980.
- 36 - RAMALHO, A.M. Carvões vegetais para gasogênios. Lisboa, Ministério da Economia. Comissão Reguladora do Comércio de Carvões. 1943/45. 110 p.
- 37 - SATONAKA, S. Carbonization and gasification of wood. In: Smith, W.R. Energy from forest biomass. New York. Academic press, 1982. p. 147-154.
- 38 - SERRA, C.P. Uma análise do modelo energético brasileiro. Energia, 2(7):27-30, mar/abr. 1980.
- 39 - SILVA, G.D. et alii. Comportamento de essências florestais nas regiões árida e semi-árida do nordeste. Brasília, EMBRAPA, 1980. 25 p. (EMBRAPA-DTC. Documentos, 1).
- 40 - SLOCUM, D.H.; Mc. GINNES, E.A. & BEALL, F.C. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory woods. Wood Science, 11(1):42, july 1978.
- 41 - SMITH, N. Wood: An ancient fuel with a new future. World-watch Paper 42, 1981. 48 p.
- 42 - STEEL, R.G. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, Mc Graw-Hill, 1960. 481 p.
- 43 - SUDENE. Um projeto bem sertanejo. SUDENE informa. Recife-PE, 14 (3):25-30, jul/set. 1976.
- 44 - THIBAU, C.E. Produção sustentada em florestas. Conceitos metodológicos. In: CETEC. Produção e utilização do carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982. p. 9-57 (SPT-008).
- 45 - TIGRE, C.B. Silvicultura para as matas xerófilas. Fortaleza, Ministério do Interior-DNOCS, 1970. 180 p.
- 46 - UHART, E. A floresta amazônica: Fonte de energia, Belém, SUDAM, 1976. 144 p.
- 47 - WENZL, H.F.J. The chemical technology of wood. New York, Academic press, 1970. 692 p.

ANEXO 1

DIVISÃO POLÍTICA DO ESTADO DA PARAÍBA

DIVISÃO POLÍTICA DO ESTADO DA PARAÍBA.

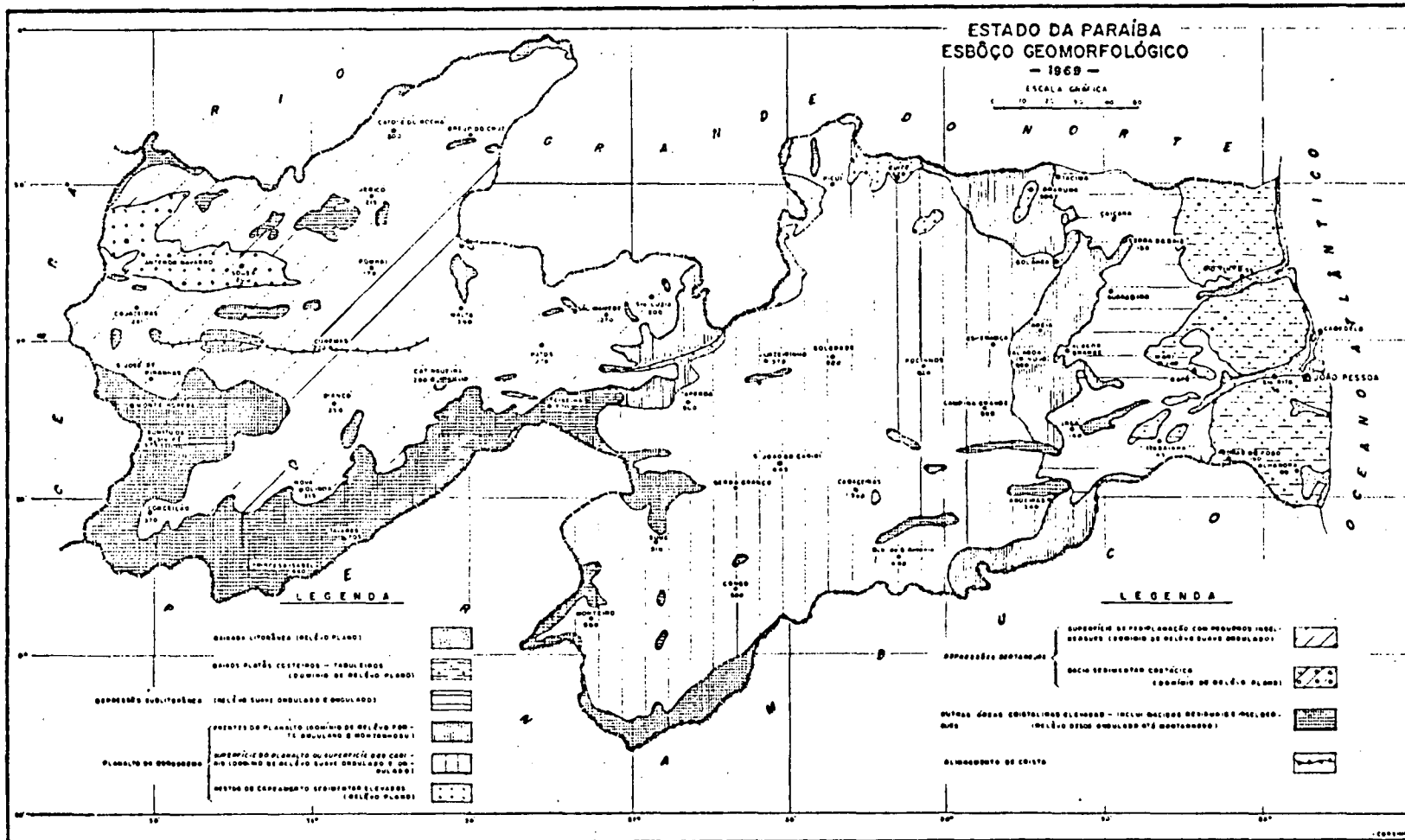


Fonte: Brasil, Ministério da Agricultura, Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.

ANEXO 2

ESBOÇO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA

ESBOÇO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA.

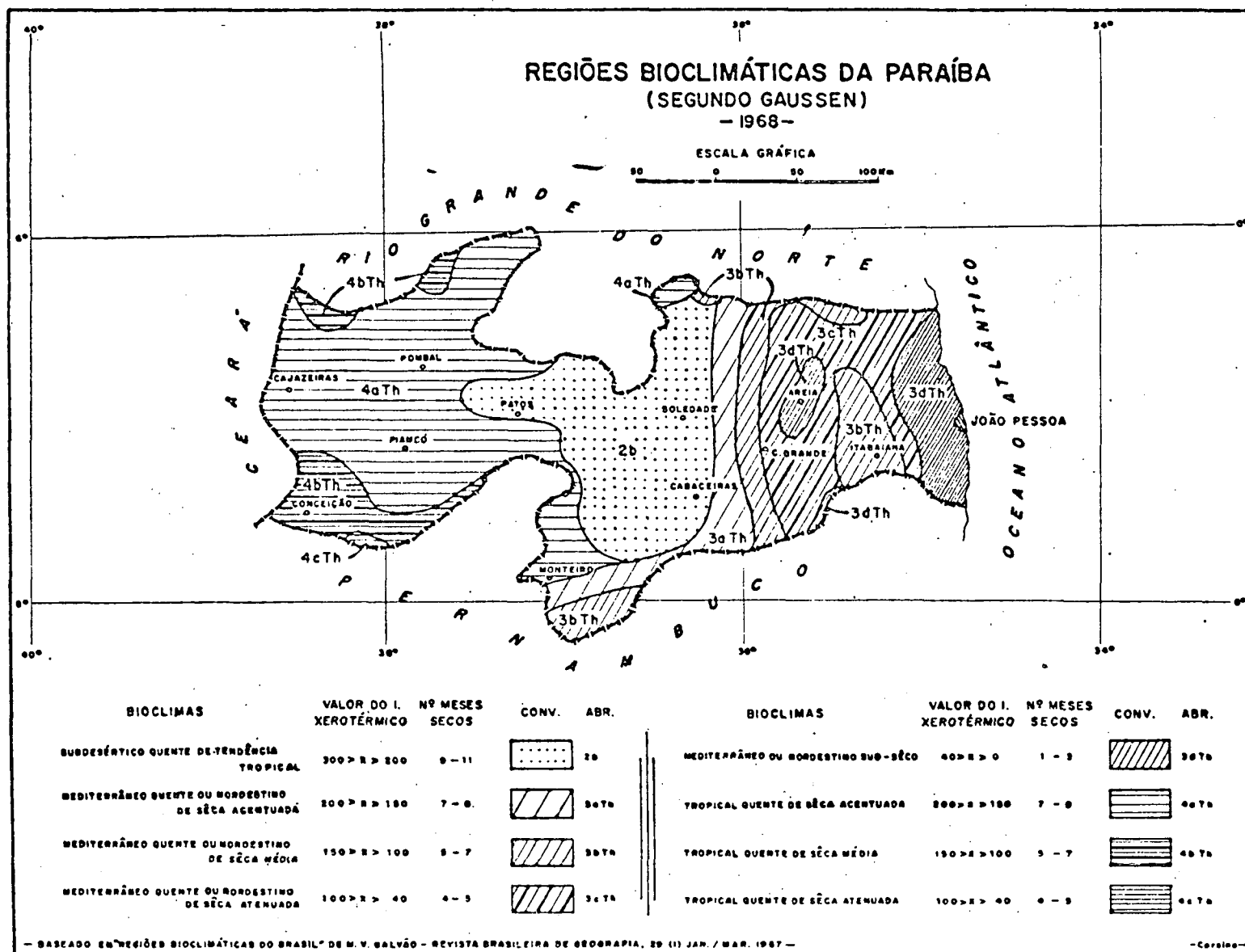


Fonte: Brasil, Ministério da Agricultura - Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.

ANEXO 3

REGIÕES BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DA PARAÍBA

REGIÕES BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DA PARAÍBA.



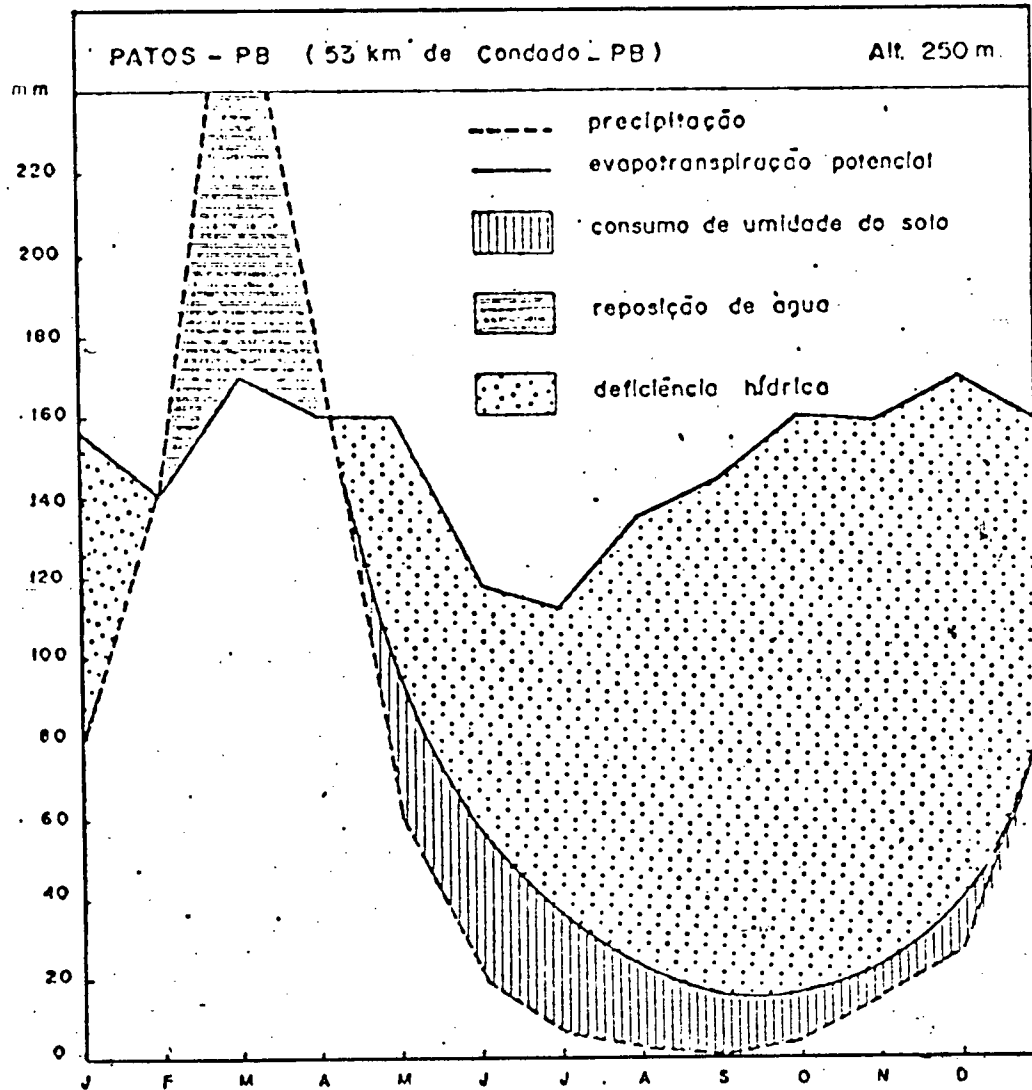
Fonte: Brasil, Ministério da Agricultura - Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.

ANEXO 4

BALANÇO HÍDRICO E REGIME PLUVIOMÉTRICO
DO MUNICÍPIO DE PATOS-PB

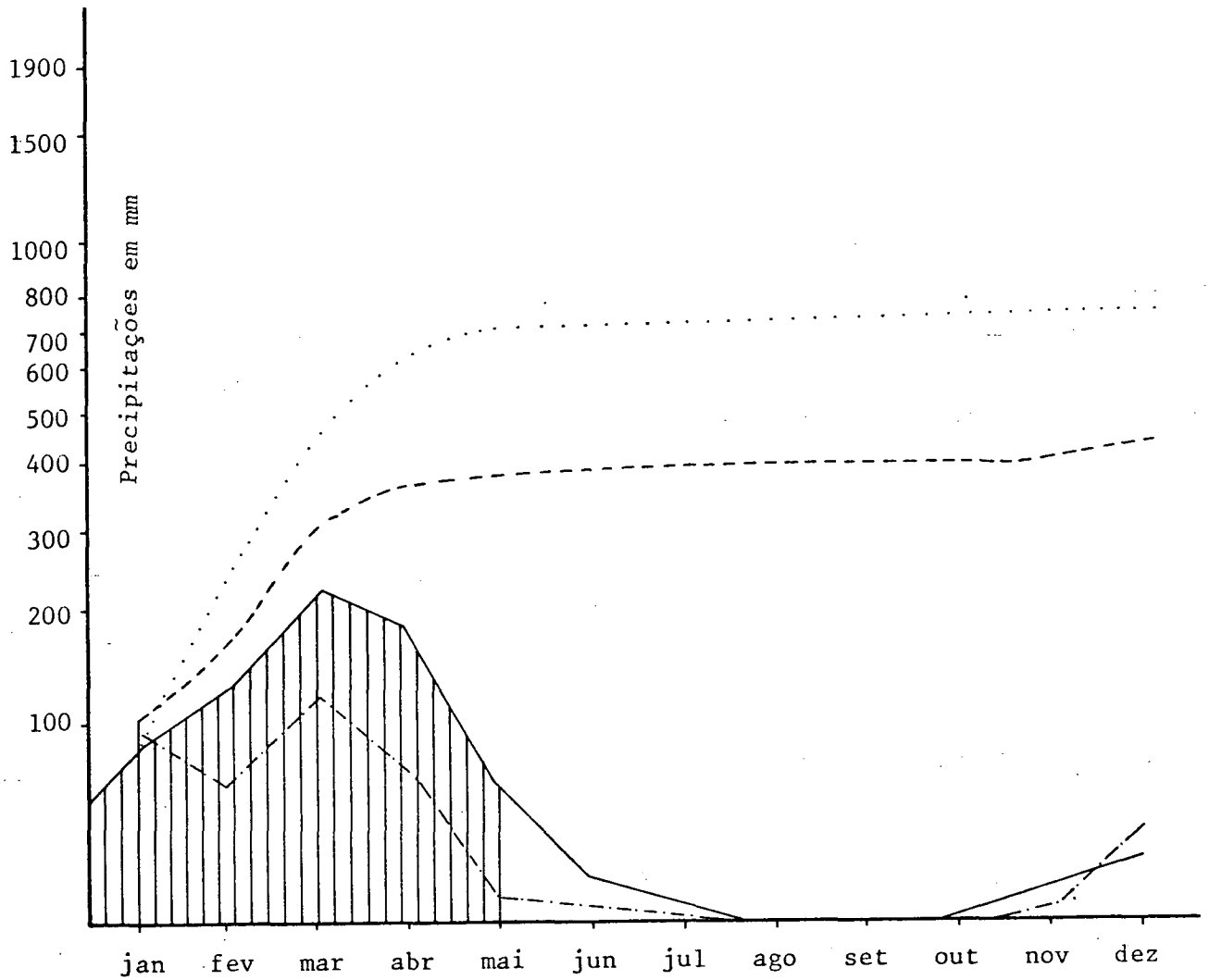
Figura 1 - BALANÇO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE PATOS - PB.

(Thortwaite e Matter-1955)



Fonte: Golfari e Caser, 1977.

Figura 2 - REGIME PLUVIOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE PATOS - PB,
MÉDIA DO PERÍODO DE 1911/1971.



Meses do ano

— Médias mensais (anos normais)

-.-.- Médias mensais (anos considerados secos: 1933; 41; 51; 58; 70)

----- Médias mensais acumuladas (anos considerados secos: 1933; 41; 51; 58; 70)

..... Médias mensais acumuladas (anos normais)

Precipitações em anos normais (maior ou igual 80 mm)

ANEXO 5

RESULTADOS DOS RENDIMENTOS EM CARVÃO VEGETAL,
LÍQUIDO CONDENSADO E GASES NÃO CONDENSADOS,
EXPRESSO NA BASE SECA, PARA CADA REPETIÇÃO DOS TRATAMENTOS

RESULTADOS DOS RENDIMENTOS EM CARVÃO VEGETAL LÍQUIDO CONDENSADO E GASES NÃO CONDENSADOS, EXPRESSOS NA BASE SECA, PARA CADA REPETIÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Condições de carbonizar	Temperatura de carbonização (°C)	Tempo à temperatura final (minutos)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Nº de repetição	Peso úmido da madeira (g)	Umidade da madeira (g)	Peso seco da madeira (g)	Peso seco do carvão (g)	Peso do líquido condensado (g)	Peso dos gases não condensáveis (g)	Rendimentos na base seca (%)		
											Carvão vegetal	Líquido condensado	Gases não condensados
400	20	5	5	1	290,10	10,21	260,48	126,65	110,77	52,68	48,62	31,16	20,22
				2	301,72	10,49	270,07	135,07	113,14	53,51	50,01	30,18	19,81
				3	291,47	10,07	262,12	129,19	116,46	45,82	49,29	33,23	17,48
				4	290,78	10,61	259,93	123,21	115,65	51,92	47,40	32,63	19,97
400	40	5	5	1	280,50	10,00	252,45	109,98	118,37	52,15	43,56	35,78	20,66
				2	276,50	10,26	248,13	115,42	115,25	45,83	46,51	35,02	18,47
				3	295,60	10,15	265,60	125,88	121,61	48,11	47,39	34,50	18,11
				4	283,23	10,75	252,78	113,80	115,02	54,41	45,02	33,46	21,52
400	60	5	5	1	288,53	10,16	259,23	113,97	116,04	58,52	43,97	33,45	22,58
				2	288,17	10,96	156,59	112,86	116,55	58,76	43,98	33,12	22,90
				3	294,85	10,71	263,27	113,41	126,80	54,64	43,08	36,17	20,75
				4	288,91	10,61	258,25	109,98	128,15	50,78	42,59	37,75	19,66

(continuação da pg. 106)

550	20	5	1	283,90	10,61	253,78	107,57	109,47	66,86	42,38	31,28	26,34
			2	285,90	10,86	254,85	108,30	111,25	66,35	42,49	31,48	26,03
			3	297,14	10,49	265,97	116,91	116,23	64,00	43,96	31,98	24,06
			4	285,74	10,50	255,74	105,55	116,55	63,64	41,27	33,85	24,88
550	40	5	1	297,12	10,98	264,50	103,60	123,49	70,03	39,17	34,35	26,48
			2	288,85	10,60	258,23	98,47	125,53	64,85	38,13	36,76	25,11
			3	292,91	10,51	262,12	102,38	120,04	70,49	39,06	34,05	26,89
			4	278,27	11,04	247,55	92,17	120,24	65,86	37,23	36,17	26,60
550	60	5	1	288,44	10,93	256,91	96,95	118,10	73,39	37,74	33,69	28,57
			2	282,55	11,14	250,34	89,92	118,63	74,00	35,92	34,52	29,56
			3	284,11	10,69	253,74	94,73	124,47	64,91	37,33	37,09	25,58
			4	288,13	10,71	257,27	96,64	127,35	64,14	37,56	37,51	24,93
700	20	5	1	288,26	11,10	256,00	93,27	123,69	71,30	36,43	35,72	27,85
			2	289,11	11,44	256,03	90,89	126,00	72,22	35,50	36,29	28,21
			3	232,72	10,88	207,40	75,50	99,99	57,23	36,40	36,01	27,59
			4	302,80	11,00	269,49	94,74	128,48	79,58	35,15	35,32	29,53
700	40	5	1	284,85	11,06	253,21	86,94	129,90	68,01	34,33	38,81	26,86
			2	288,81	11,11	256,72	90,26	122,96	75,59	36,16	35,40	29,44
			3	286,83	11,27	254,50	89,33	126,70	70,80	35,10	37,08	27,82
			4	282,97	11,48	250,48	86,38	121,03	75,56	34,48	35,35	30,17
700	60	5	1	291,73	11,36	258,59	88,54	128,40	74,79	34,24	36,84	28,92
			2	292,04	11,31	259,01	90,00	128,72	73,32	34,75	36,94	28,31
			3	279,12	11,46	247,13	85,36	123,58	70,18	34,54	37,06	28,40
			4	290,26	10,77	259,00	86,22	128,76	75,28	33,29	37,65	29,06

ANEXO 6

RESULTADOS DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR
DETERMINADO EM BOMBA CALORIMÉTRICA

RESULTADOS DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DETERMINADO EM BOMBA CALORIMÉTRICA.

Condições de carbonização			Nº de repetições.	Poder calorífico superior. (K.joules/kg)
Temperatura final de carbonização(°C)	Tempo à temperatura final. (Minutos)	Taxa de aquecimento. (°C/Min.)		
400	20	5	1	30.382
			2	30.160
			3	30.307
			4	30.252
400	40	5	1	30.566
			2	30.214
			3	30.687
			4	30.185
400	60	5	1	32.178
			2	31.604
			3	31.546
			4	31.081
550	20	5	1	33.697
			2	34.869
			3	33.990
			4	34.283
550	40	5	1	34.660
			2	34.899
			3	35.204
			4	34.300
550	60	5	1	35.589
			2	35.719
			3	35.698
			4	35.183
700	20	5	1	33.023
			2	33.111
			3	33.990
			4	32.525
700	40	5	1	33.019
			2	32.320
			3	32.420
			4	32.663
700	60	5	1	32.893
			2	32.379
			3	31.939
			4	32.303

ANEXO 7

RESULTADOS DOS VALORES DO PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO PRODUZIDO

RESULTADOS DOS VALORES DO PESO ESPECÍFICO BÁSICO DO CARVÃO PRODUZIDO.

Condições de carbonização			Nº de repetições.	Peso específico básico. (g/cm ³)
Temperatura final de carbonização (°C)	Tempo à temperatura final. (Minutos)	Taxa de aquecimento. (°C/Min.)		
400	20	5	1	0,60
			2	0,59
			3	0,61
			4	0,59
400	40	5	1	0,60
			2	0,60
			3	0,60
			4	0,61
400	60	5	1	0,60
			2	0,59
			3	0,61
			4	0,59
550	20	5	1	0,55
			2	0,58
			3	0,56
			4	0,56
550	40	5	1	0,58
			2	0,57
			3	0,55
			4	0,54
550	60	5	1	0,56
			2	0,54
			3	0,54
			4	0,58
700	20	5	1	0,69
			2	0,67
			3	0,65
			4	0,64
700	40	5	1	0,68
			2	0,69
			3	0,65
			4	0,65
700	60	5	1	0,65
			2	0,65
			3	0,70
			4	0,68

ANEXO 8

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CARVÃO
(MATERIAIS VOLÁTEIS, CINZAS E CARBONO FIXO)
PARA CADA UMA DAS REPETIÇÕES

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CARVÃO (MATERIAIS VOLÁTEIS, CINZAS E CARBONO FIXO PARA CADA UMA DAS REPETIÇÕES.

Condições de carbonização				Composição química do carvão		
Temperatura final de carbonização (°C)	Tempo à temperatura final. (Minutos)	Taxa de aquecimento. (°C/Min.)		Materiais voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono fixo (%)
400	20	5	1	38,38	1,01	60,61
			2	37,37	1,01	61,62
			3	37,37	1,01	61,62
			4	37,37	1,01	61,62
400	40	5	1	31,31	1,01	67,68
			2	31,31	1,01	67,68
			3	31,31	1,01	67,68
			4	31,31	1,01	67,68
400	60	5	1	24,49	1,02	74,49
			2	23,23	1,01	75,76
			3	25,50	1,01	73,48
			4	25,75	1,01	73,12
550	20	5	1	27,72	1,98	70,30
			2	25,25	2,02	72,73
			3	25,25	2,02	72,73
			4	28,00	2,00	70,00
550	40	5	1	11,00	2,00	87,00
			2	11,11	2,02	86,87
			3	11,00	2,00	87,00
			4	13,00	2,00	85,00
550	60	5	1	9,09	2,02	88,89
			2	7,07	2,02	90,91
			3	8,08	2,02	89,90
			4	9,09	2,02	88,89
700	20	5	1	4,95	2,97	92,08
			2	4,95	2,97	92,08
			3	5,94	2,97	91,09
			4	4,04	3,03	92,93
700	40	5	1	4,04	3,03	92,93
			2	4,00	3,00	93,00
			3	4,00	3,00	93,00
			4	3,03	3,03	93,94
700	60	5	1	2,97	2,97	94,06
			2	3,03	3,03	93,94
			3	3,03	3,03	93,94
			4	3,03	3,03	93,94