

# REVISTA ENERGETICA

AÑO 8  
**5/84**

Septiembre - Octubre/84  
September - October/84



Organización Latinoamericana de Energía  
Latin American Energy Organization

BOSQUES PARA LEÑA Y CARBÓN VEGETAL EN BRASIL **olade** MAN - MADE  
FORESTS FOR WOOD AND CHARCOAL IN BRAZIL **olade** PERSPECTIVAS ENER-  
GETICAS MUNDIALES: ALGUNAS IMPLICACIONES PARA MEXICO **olade** WORLD  
ENERGY OUTLOOK: SOME IMPLICATIONS FOR MEXICO **olade** ELECTRIFICACION  
RURAL RENTABLE **olade** ECONOMICALLY VIABLE RURAL ELECTRIFICATION

# BOSQUES PARA LEÑA Y CARBON VEGETAL EN BRASIL

**Mauricio Hansenclever Borges y  
José Geraldo Rivelli Magalhaes**

FLORESTAL ACESITA S.A.  
BELO HORIZONTE - MINAS GERAIS  
BRASIL

## PROLOGO

Este informe fue preparado por Florestal Acesita S.A., la cual es una subsidiaria de una acería, la Compañía Aceros Especiales Itabira, S.A. (ACESITA), que produce aproximadamente 600,000 toneladas de acero especial por año.

Florestal ACESITA, S.A. (FLORASA) suministra a la acería aproximadamente 1,8 millones de metros cúbicos (450.000 toneladas) de carbón vegetal por año; el 60% de los cuales proviene de sus propias plantaciones de eucaliptos. FLORASA tiene un programa de investigación y desarrollo que involucra la silvicultura, desde la producción de semillas hasta la explotación forestal y el desarrollo de procesos de carbonización, que incluye la recuperación de subproductos.

FLORASA ha sembrado 150.000 hectáreas de eucaliptos, siendo divididas en tres localidades: Jequitinhonha y el Valle del Río Dulce (con 85.000 y 54.000 ha, respectivamente), en el Estado de Minas y Gerais y una zona de 9.000 ha en los Estados de Espírito Santo y Bahía, cerca de la costa.

La compañía matriz, ACESITA, es propiedad del Banco do Brasil S.A., del gobierno brasileño.

El equipo de trabajo responsable del presente informe incluye a:

- Mauricio Hansenclever Borges, Ingeniero Civil  
Presidente de Florestal ACESITA S.A.

- José Geraldo Rivelli Magalhaes, Ingeniero Forestal  
Asistente del Director de Producción de Florestal  
ACESITA S.A.
- Mauro Rodríguez de Almeida, Ingeniero Metalúrgico  
Asistente del Director de Producción de Florestal  
ACESITA S.A.
- Rubem Mario de Melo e Souza, Administrador de  
Empresas.  
Gerente del Grupo de Consultoría de Florestal  
ACESITA S.A.

## LA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL EN BRASIL

### 1. INTRODUCCION

Debido a los elevados precios del petróleo y a los crecientes riesgos de continuas perturbaciones en el suministro de este producto, la leña y el carbón vegetal se han convertido en una importante fuente de energía industrial en el Brasil. La siembra de bosques con fines energéticos está tornándose competitiva para otras fuentes, especialmente en aquellos países que carecen de combustibles fósiles. Además, la siembra de bosques y la producción de carbón vegetal se puede realizar utilizando una amplia gama de niveles tecnológicos (desde totalmente manual hasta altamente mecanizado), adecuados para las condiciones económicas y ocupacionales de un determinado país. Para los países en vías de desarrollo, la producción de carbón vegetal a partir de bosques hechos



por el hombre, o de las materias celulósicas recuperadas del despejo de los bosques debido a propósitos agropecuarios y ganaderos, pueden coadyuvar a producir o mantener el empleo en las zonas rurales con un nivel bajo de inversión.

Por muchas décadas, Brasil ha producido carbón vegetal en la industria siderúrgica para su uso. Aproximadamente, 5 millones de toneladas son producidas anualmente a partir de bosques nativos y sembrados. Brasil sembró más de 4 millones de hectáreas de bosques hechos por el hombre con el fin de tener leña, carbón vegetal, celulosa, papel y madera, como se puede apreciar en la Tabla 1.

En Brasil, el carbón vegetal se ha aprovechado principalmente, como un reductor térmico en la industria siderúrgica. Su papel ha sido más prominente durante la última década, ya que debido a los crecientes precios del coque, los cuales han hecho más competitivo al carbón vegetal para la producción de lingotes y se ha incrementado la importancia sobre la detallada atención al uso del carbón y a la producción del reductor térmico, puesto que ésta representa más del 60% del costo total de la producción de lingotes (arrabios).

Un cambio aún más fuerte se ha producido como resultado del incremento mundial en los precios del

TABLA 1  
**BOSQUES SEMBRADOS EN BRASIL**

AÑO	PINOS	EUCALIPTO	ARAUCARIA	OTROS	TOTAL
1976	18.159	13.877	1.729	994	34.759
1968	60.899	30.057	7.330	4.624	102.910
1969	96.798	53.800	7.670	4.115	162.383
1970	119.913	83.609	12.030	6.453	222.005
1971	98.053	129.053	8.080	13.284	248.470
1972	101.060	172.441	7.756	23.090	304.356
1973	86.181	161.132	7.828	39.013	294.154
1974	83.245	188.336	7.530	45.268	324.379
1975	94.222	222.718	6.618	74.282	398.240
1976	107.001	262.337	4.846	95.065	469.249
1977	99.277	194.352	758	52.045	346.432
1978	140.726	228.068	902	42.001	411.697
1979	117.944	282.420	1.332	72.022	473.718
1980	88.650	271.550	200	75.175	435.575
1981	117.160	229.675	350	71.690	418.875
1982	129.069	175.786	740	50.518	356.113
1983	73.565	91.035	230	53.620	218.450
<b>TOTAL</b>	<b>1.558.357</b>	<b>2.699.211</b>	<b>75.929</b>	<b>723.668</b>	<b>5.221.765</b>

\* Datos estimados, basados en proyectos autorizados por IBDF (Instituto Brasileño para el Desarrollo Forestal).

petróleo, el cual ha incidido de una manera fuerte y perjudicial sobre la situación comercial del Brasil.

A pesar de muchas iniciativas del sector energético, la política brasileña sobre precios altamente subsidiados para el combustóleo (bunker), efectivamente excluyó al carbón vegetal y a la leña de desempeñar un papel significativo como sustitutos del petróleo importado. Primeramente este subsidio se basó en la creencia de que la industria no respondería a los precios más altos del petróleo por medio de un aumento en uso de energía. Luego en 1979 y 1980 la política energética del gobierno cambió y los precios del combustóleo (bunker) aumentaron aproximadamente al nivel del mercado mundial. Esto abrió las perspectivas de una sustitución económicamente viable del combustóleo (bunker) en la industria, por la leña y el carbón vegetal, desde entonces se ha producido considerable actividad en ese sentido.

Tomando en cuenta únicamente la producción siderúrgica, es interesante notar que entre las alternativas para la producción de arrabios, las que utilizan el carbón vegetal tienen como resultados los menores costos de producción en Brasil, y somos de la opinión que esto será cierto para muchos países en desarrollo

que no tengan un carbón metalúrgico de buena calidad, como en el caso de nuestro país.

## 2. MAGNITUD DEL USO DE CARBON EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA DEL BRASIL

El carbón vegetal ocupa un lugar importante en la producción nacional de lingotes. La industria siderúrgica del Brasil se basó inicialmente en el carbón vegetal. Paulatinamente pasó al carbón mineral importado. La Tabla 2 muestra la evolución en la producción de arrabios en la década de los 70, tanto al uso del coque como del carbón vegetal. Para tal producción, la tasa de consumo anual que se puede apreciar en la Tabla 3.

Casi todo el carbón vegetal se produjo de la explotación de los bosques naturales, la mayoría de los cuales fueron destruidos debido a la expansión agrícola. Esto se puede observar en la Tabla 3 al analizar la diferencia entre el carbón vegetal comprado y el consumido por acerías integradas, el cual se aproxima al carbón vegetal que proviene de los bosques de eucaliptos. Si se considera una densidad media de 250 kg. de carbón vegetal por metro cúbico, entonces la industria siderúrgica brasileña consumió cerca de 3.9 millones de toneladas en 1980.

TABLA 2  
PRODUCCION DE ARRABIOS  
(1) x 1.000 TONELADAS

ARRABIOS	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Usando coque	2.327	2.499	2.759	2.827	2.689	3.423	4.141	5.537	6.199	7.282	7.744
Usando carbón vegetal*	1.878	2.187	2.540	2.706	3.157	3.630	4.029	3.843	3.844	4.312	4.941
<b>TOTAL</b>	<b>4.205</b>	<b>4.686</b>	<b>5.299</b>	<b>5.533</b>	<b>5.846</b>	<b>7.053</b>	<b>8.140</b>	<b>9.380</b>	<b>10.043</b>	<b>11.594</b>	<b>12.685</b>

\* Participación de carbón  
Incluidos los arrabios de altos hornos de reducción eléctrica.  
FUENTE: IBS., Instituto Brasileño de Siderurgia

TABLA 3  
**CONSUMO DE CARBON VEGETAL**  
**(1) x 1.000 m<sup>3</sup>**

AÑO	INDUSTRIA SIDERURGICA *		CONSUMO ESTIMADO DE PRODUCTORES INDEPENDIENTES**
	COMPRAS EN EL MERCADO INTERNO	CONSUMO	
1972	5.105	5.591	3.317
1973	5.385	5.802	3.688
1974	6.095	5.998	5.040
1975	6.297	7.001	6.192
1976	5.955	6.143	7.717
1977	5.834	6.785	6.772
1978	5.232	6.333	7.069
1979	6.173	7.430	7.988
1980	7.498	8.786	8.917

\* Solamente acerías integradas que producen acero y/o funden cubas.

\*\* Compañías que producen sólo arrabios.

FUENTE: IBS, Instituto Brasileño de Siderurgia.

### 3. FUENTES DE CARBON VEGETAL EN EL BRASIL

La producción de carbón vegetal surge como una actividad secundaria de la agro-pecuaria. Tan pronto se tala la madera, el granjero se enfrenta a un problema: quemarla o venderla para fines energéticos como carbón vegetal. Según las distancias para los centros de consumo, la producción de carbón vegetal les proporcionarán suficiente dinero para preparar las tierras en un uso alterno.

Más del 80% del carbón vegetal proviene de estas actividades y de madera nativa. La tasa estimada de deforestación actual, debido a la expansión de pastos y tierras de cultivo, es de casi 4 millones de hectáreas por año.

En Brasil un programa sostenido de sustitución de combustóleo (bunker) por leña o carbón vegetal, tie-

ne que depender de un nivel adecuado de siembras durante los próximos años, cualquier incremento significativo en los esfuerzos de sustitución (cemento, cerámica, producción de vapor, hornos de calentamiento, etc.) tiene que provenir en gran parte de los bosques nativos.

### 4. REFORESTACION EN BRASIL: CONSIDERACIONES

La formación de los bosques hechos por el hombre con especies exóticas, comenzó aproximadamente en 1900 en el Brasil con el trabajo pionero de Edmundo Navarro de Andrade. Los primeros proyectos de investigación se iniciaron entonces como un intento de identificar especies de rápido crecimiento que pudieran arrojar un gran volumen de madera por hectárea, y suministrar así la demanda de la Empresa Ferrocarrilera del Estado de Sao Paulo, tanto para los durmientes del ferrocarril como para los combustibles de las locomotoras.

Experimentos frustantes con especies autóctonas llamaron la atención hacia especies exóticas, desde el principio se dió mayor atención a **Eucalyptus spp.**, originaria de Australia, y en menor grado de Filipinas, Indonesia y Nueva Guinea.

Su capacidad productiva, resistencia a las enfermedades y a los insectos y su adaptabilidad, han hecho al eucalipto el principal objetivo de un programa permanente de reforestación en Brasil. Actualmente más de 4 millones de hectáreas están siendo reforestadas, aproximadamente la mitad son sembradas con la especie **Eucalyptus** y el resto con varias especies **Pinus**. Quince años después de que el Código Forestal fuera elaborado, Brasil se beneficia por el gran aumento en su actividad de reforestación, principalmente en grandes plantaciones que llegan a una tasa anual de 400,000 hectáreas.

Incentivos en forma impositiva o fiscal fueron creados en la década de los 60 para beneficiar al sector forestal. A través de tal mecanismo, el gobierno federal procuró despertar en el hombre de empresas brasileño una conciencia sobre la importancia de los

bosques para la economía nacional. Se apresuró en sembrar grandes bosques. Hasta fines de la década de los 70, surgió un nuevo proceso que enfatizaba más sobre las investigaciones forestales. Comenzaron a emplearse nuevas técnicas de mejoramiento de calidad, así como también especies ecológicamente más fuertes con semillas mejoradas; se cambió el sistema de administración forestal, se redujo el ciclo de cosechas, etc.

#### 4.1 Establecimiento de bosques

El establecimiento de bosques es un proceso que consiste en una serie de pasos que comprenden una operación que va desde la selección de las tierras hasta la misma siembra.

Se han establecido criterios de zonificación económica y ecológica en Brasil. Por el lado económico, las regiones se agrupan de acuerdo a si cumplen ciertas condiciones que permiten la formación de grandes bosques para su futuro uso industrial. Tales áreas se denominan "Distritos Forestales".

Por el lado ecológico, el país fue dividido en 26 regiones bioclimáticas, cada una de las cuales tomaba en cuenta tipos de clima, altura, topografía, vegetación, temperatura y pluviosidad anual media, heladas y deficiencias hídricas, tipos de suelo, etc.

Esta zonificación dual, económica y ecológica, es la base para la selección de las áreas. La mayor parte de la reforestación se encuentra en la región sud-central del país.

##### 4.1.1 SELECCION DE ESPECIES

La mayoría de siembras iniciales de eucaliptos involucró básicamente dos especies: **Eucalyptus grandis** y **Eucalyptus saligna**. Esto se debió al limitado conocimiento acerca de las demás especies y al hecho de que estas dos eran de un manejo fácil, tanto en los viveros como en el campo. Además, sus semillas se conseguían con facilidad y demostraban una marcada adaptabilidad y productividad. En menor grado se utilizaban otras especies tales como **Eucalyp-**

**tus paniculata, Eucalyptus citriodora, Eucalyptus tereticornis, Eucalyptus microcorys, Eucalyptus alba** (un híbrido de Río Claro), etc.

Las investigaciones han conducido al uso de otras especies. Esto se ha logrado a través de la introducción de nuevas especies y procedencias, para estudiar características tecnológicas específicas para el aprovechamiento de la madera como una fuente de energía. El Proyecto para la Investigación y Desarrollo Forestal (PRODEPEF), un proyecto conjunto entre el gobierno brasileño - a través del Instituto Brasileño de Desarrollo Forestal (IBDF) - y la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO), permitió durante el período 1974-78 la introducción de nuevas especies y procedencias de eucaliptos.

Este programa de PRODEPEF tuvo como objeto probar las especies y orígenes, según la zonificación ecológica. Es así como 45 especies de 400 orígenes se introdujeron en la zona sud-central de Brasil, siendo los principales: **Eucalyptus grandis, Eucalyptus urophylla** y **Eucalyptus tereticornis**. En las zonas cerradas también se sembraron **Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus propinqua, Eucalyptus pilularis** y **Eucalyptus cloezina**.

Una de las conclusiones a que se llegó con estos experimentos fue que en la selección de las especies los factores climáticos eran más decisivos y relevantes que las características del suelo. El clima incide en la aptitud de la planta hacia ciertas condiciones ecológicas, mientras que el suelo influye primordialmente en la producción. De manera que los resultados indicados en la Tabla 4 serían mayores de 2 a 3 veces si fueran de una región de bosques.

Las diferencias de comportamiento de las especies y orígenes de acuerdo con las características edafoclimáticas, que son resultado de una interacción genotipo-fenotipo, muestran la importancia de una adecuada selección no sólo de la especie sino también del origen geográfico de la semilla.

Otro factor determinante en la selección de las especies es el uso propuesto que se dará al material.



TABLA 4  
**PRODUCTIVIDAD DE 10 ESPECIES DE  
 EUCALIPTOS EN SUELOS CERRADOS,  
 5 AÑOS DE EDAD, VALLE DE  
 JEQUINHONHA, BRASIL**

ESPECIE	ALTURA (m)	DIAMETRO (cm)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> /ha)
1 E. PILULARIS	15.25	13.72	187.92
2 E. GRANDIS	16.01	12.87	173.60
3 E. PILULARIS	15.40	12.34	153.51
4 E. CLOEZIANA	12.08	12.38	121.20
5 E. PROPINQUA	13.55	11.52	110.38
6 E. SALIGNA	12.85	10.33	89.76
7 E. EXERTA	10.81	10.97	85.16
8 E. TERETICORNIS	11.11	10.37	78.21
9 E. EXERTA	9.97	10.83	76.55
10 E. UROPHYLLA	11.44	9.87	72.94

FUENTE: Nascimento Filho y Magalhaes.

Específicamente, una característica importante para la madera destinada a la producción de carbón vegetal es la densidad, la cual varía en función de especies, ubicación, edad y tasa de crecimiento.

En cuanto al factor especie, algunos estudios de FLORASA han demostrado que aunque especies como **E. grandis** y **E. saligna** sean de las siembras más grandes, se encuentran en el grupo de baja densidad, entre 0.4 y 0.5 g/cm<sup>3</sup>. Las especies como **E. robusta**, **E. tereticornis** y **E. camaldulensis** figuran entre las de mediana densidad. En el grupo de alta densidad están la **E. citriodora**, **E. cloeziana**, **E. maculata**, **E. paniculata**, etc., con una densidad de alrededor de 0.6 g/cm<sup>3</sup>.

Las condiciones ecológicas influyen grandemente en la densidad, ya que existe una estrecha correlación con la tasa de crecimiento. Una tasa de más alta se combina con densidades menores, así que la especie sembradas en dos localidades distintas a una edad determinada tendrán dos valores diferentes de

densidad. La edad de un conjunto de árboles en pie es otro factor que bajo ciertas condiciones incide en la densidad. Los estudios de una población de **E. urophylla**, **E. grandis** y **E. saligna** (de edad entre 2 y 9 años) ha mostrado que la densidad tiene una relación lineal con la edad.

En resumen, la selección de especies exige tomar en cuenta todas las variables anteriormente mencionadas, de manera que se aproveche el suelo al máximo, tanto cuantitativa como cualitativamente.

#### 4.2 Producción de plantas de semillero

Varios factores interactúan para que una plantación de árboles pueda tener un buen rendimiento. Algunos de estos son: especie, fertilización, cuidado del cultivo, etc. Individualmente, ningún factor significa mucho por sí solo; lo que importa es la interacción de todos. Pero aunque depende de tal interacción el éxito descansa fundamentalmente en la fase del vivero. Las plantas de semillero mal formadas resultan en plantaciones improductivas que no responden a la fertilización ni al cuidado posterior. En otras palabras, dichas plantas pueden implicar el desastre financiero.

Cuando se inició la silvicultura en Brasil, la producción de las plantas de semilleros copiaba lo que se hacía en la horticultura. Las semillas eran sembradas en lechos donde los hoyos se hacían con una azada, y en algún momento después de la germinación eran trasplantadas a recipientes. Por mucho tiempo se utilizaba "Torrao Paulista" para el empaquetado, consistiendo éste de una mezcla de arcilla y materia orgánica.

La siembra de grandes bosques condujo a la creación de nuevas técnicas de vivero. Las grandes dimensiones del bosque exigieron nuevos recipientes, nuevos métodos de siembra, sistemas de riego, administración, etc. Hoy en día, el recipiente de uso más común es una funda de polietileno con una altura de 15 cm., un diámetro de 11 cm. y un espesor plástico de 0.05 cm. Para rellenarla se utiliza una cantidad de subsuelo mezclada con cierta cantidad de abono (las cantidades varían de región a región).

Florestal ACESITA, en la actualidad, no mezcla fertilizantes con la tierra utilizada como relleno, sino aplica estos por medio del agua de riego, permitiendo así \*un mejor control del crecimiento de la planta de semillero, hasta el punto de apurarlo o demorarlo, según el cronograma de siembra.

En este proceso de siembra, que normalmente se realiza 120 días antes de la trasplatación, se colocan 3 o 6 semillas en el recipiente de polietileno. Posteriormente, la semilla es cubierta por una delgada capa de tierra y por otra de cáscaras de arroz o de césped cortado, para proteger la superficie de los rayos solares directos y de las pérdidas de humedad.

Una alternativa para este proceso clásico de semilla-semillero es una nueva técnica de producción introducida recientemente en el Brasil. Consiste en cortar las hojas de los árboles seleccionados para hacerles echar raíces. Esto da como resultado una productividad excelente, ya que solamente se utilizan los mejores árboles.

Esta técnica es muy sencilla, pero requiere de ciertas condiciones especiales. Se construyen invernaderos para evitar el sol directo, junto con una estructura cubierta de malla fina que filtra y distribuye el sol uniformemente. La malla también sirve como protección contra el granizo y las fuertes tempestades del verano y disminuye el impacto de vientos y temperaturas.

Esta técnica ha tenido éxito a lo largo de la costa brasileña, donde las condiciones ambientales son sumamente favorables. La temperatura ideal es de unos 24°C y la humedad relativa en el invernadero tiene que mantenerse a unos 100%. Esto exige la instalación de un sistema automático de aspersion de agua. La demanda de estas condiciones especiales ha impedido la expansión de la técnica a otras zonas de Brasil, donde la temperatura media del invierno es baja. Para superar tales obstáculos, varios experimentos están realizándose, en un intento de llegar a un sistema de calefacción acoplado a estimulantes biológicos que puedan mejorar exitosamente la tasa con que los cortes echan raíces. En estas regiones

más difíciles, es porcentaje de sobrevivencia de los cortes que echan raíces es del 40 al 50% y en el litoral asciende al 70% sin estimulantes. La fertilización, protección y selección de las plantas de semillero siguen los mismos patrones del proceso tradicional.

### 4.3 Espaciamento de árboles

Hasta fines de la década pasada, la formación de bosques hechos por el hombre en Brasil se guiaba por los sistemas tradicionales, incluyendo un espaciamento estandar. Hasta 1967, las siembras de una empresa con sus propios recursos, especialmente las empresas siderúrgicas, se espaciaban a 2 metros por 2, con tres cortes, uno cada siete años. Posteriormente, con el otorgamiento de incentivos fiscales y el uso de fertilizantes, el espacio fue aumentando a 3 metros por 2. Este sistema prevaleció hasta muy recientemente, cuando se inició un espaciamento de 3 metros por 1.5. Los experimentos de la Florestal ACESITA han mostrado que este nuevo espaciamento es superior en un 25% al anterior.

El espaciamento incide directamente en la edad de rotación y debe emplearse en base a la utilización eventual de la madera. En las siembras más densas, surgirá más pronto una mayor competencia por la luz y los nutrientes que en las siembras más espaciadas (menos plantas por unidad de área), de manera que estos árboles pueden ser cosechados a mayor edad que los primeros.

Las investigaciones permanentes sobre la producción de carbón vegetal han mostrado que la madera de los árboles más jóvenes y pequeños arroja un producto con mejores características físicas y mecánicas.

Al definir el espaciamento, también se tiene que tomar en cuenta otros factores como especie, características edafoclimáticas, prácticas de silvicultura, etc.

El trabajo experimental ha mostrado que el diámetro de los árboles se ve mayormente influenciado por el espaciamento, esto finalmente se refleja en el volumen total de madera por hectárea.





Los experimentos también han mostrado, por ejemplo, que el comportamiento de las especies difiere en términos de la competencia por agua, luz y nutrientes. Dicha competencia puede llegar a tal nivel, que en un conjunto de árboles, los más fuertes, a una edad determinada pueden eliminar a los otros. El mayor o menor espaciamiento determina cuando comienza un proceso de auto-reducción, y su nivel es importante para el mejoramiento genético. En el caso de material heterogéneo, un número de árboles dominantes eliminarán a otros durante el proceso.

Como se ha mencionado, la edad de rotación depende del espaciamiento. Mientras mayor sea el espacio entre los árboles, mayor será la edad de la cosecha sin estancamiento del volumen.

Las pruebas continuas en FLORASA han demostrado que además el área por planta, el arreglo del espaciamiento también es fundamental para el desarrollo y sobrevivencia en una edad determinada. Se ha hecho una prueba en la que fueron establecidos 5 modelos de espaciamiento, en una gama desde un modelo simétrico en que los árboles recibían la luz uniformemente hasta una agrupación de 2 o 4 árboles en fila o alternados entre las filas.

A la edad de 16 meses, se puede observar que la sobrevivencia ha sido influenciada por el área por planta, y tanto la sobrevivencia como el área por planta aumentan paralelamente. Los resultados observados hasta ahora son parciales y se alterarán debido a la edad; sin embargo, ya se puede detectar una interacción entre el espaciamiento y el área por planta.

Desde 1980 se ha venido produciendo un cambio profundo en los parámetros técnicos que guían la formación de bosques de rotación corta, para generar madera con fines energéticos, siendo utilizada directamente como leña o como carbón vegetal. Dicho cambio debería originar una reducción en la edad de rotación y en consecuencia, en el espaciamiento. Dentro de este marco, FLORASA ha hecho siembras piloto en 1980, con espaciamientos de 2 metros por 1 y de 1.5 por 1. Estos se realizaron en zonas planas así

como en zonas montañosas y se están recopilando datos para poder decidir el ciclo de rotación.

El incremento en el número de árboles por hectárea implica un costo más alto para el establecimiento de bosques debido a las necesidades de más fertilizantes, más plantas de semillero y más mano de obra. Por otro lado, el ciclo de corte se reducirá de 7 a 3 o 5 años, y habrá un mayor número de cortes: de 3 hasta 4, 5 o 6.

#### 4.4 Fertilización

Durante el trasplante, se utilizan fertilizantes basados en nitrógeno, fósforo y potasio, en niveles que varían en función de las características del suelo y del espaciamiento de los árboles. En general, se utilizan 350 Kg. de NPK (5 - 30 - 10) por hectárea.

Muy recientemente, Florestal ACESITA ha estado probando la roca de fosfatos naturales como abono para sustituir una parte de los 350 Kg de NPK por hectárea. Los resultados obtenidos hasta ahora han sido positivos en lo que concierne al aumento de productividad, principalmente para los suelos cerrados deficientes en fósforo.

#### 5. TECNOLOGIA DE CARBON VEGETAL

Todo el carbón vegetal producido en Brasil hasta la fecha se ha basado en el uso de hornos de ladrillos en forma de colmena, los cuales difieren en su tamaño y configuración, dependiendo si la producción de carbón vegetal se dirige a un bosque nativo o a uno hecho por el hombre.

Se pueden considerar dos modalidades para la carbonización de madera en los hornos de ladrillos:

- **Bosques nativos:** hornos pequeños con una capacidad menor a 20m<sup>3</sup> de madera, en grupos de baterías de 4 hornos localizados en el sitio de corte.
- **Bosques hechos por el hombre:** hornos grandes con una mayor capacidad de 20m<sup>3</sup>, en grupos de baterías de 7 a 9 hornos, comprenden carboneras

más o menos centralizadas de hasta 10 a 11 baterías (70 a 100 hornos).

El carbón vegetal hecho a partir de madera nativa se deriva en gran parte de una práctica nómada, que involucra la utilización de la materia maderera generada al limpiar tierra para operaciones agropecuarias. Por lo tanto, es importante realzar algunas de las características de la actividad realizada por los hacendados:

- La utilización de la madera es un subproducto de la actividad agropecuaria.
- En zonas en que la madera no se aprovecha para ningún uso práctico, es común entre las poblaciones rurales, quemar toda la vegetación.
- En Brasil, la práctica de la regeneración sistemática y controlada de los inventarios nativos, la cual de otra manera podría implementarse a gran escala, es muy limitada.
- El agotamiento de los recursos naturales debido al despejo de vastas zonas de bosque para fines agrícolas ha traído consigo aumentos sucesivos en los costos de transporte, conforme el frente productor de carbón vegetal haya pasado, obligatoriamente, cada vez más lejos de los centros de consumo. Hace algunos años, el radio medio de transporte fue de unos 150 km mientras que, hoy por hoy, es de unos 500 km.

Esta característica de movimiento constante de los sitios de producción de carbón vegetal ha dado lugar a pequeños sistemas de carbonización, de inversión baja y una vida útil limitada (de 1 a 2 años), que siguen el camino de la deforestación.

Generalmente, los productores de carbón vegetal a partir de los bosques nativos se agrupan bajo tres categorías, según la producción mensual:

- pequeños productores: hasta 200 m<sup>3</sup>/mes
- productores medianos: entre 200 y 600 m<sup>3</sup>/mes
- productores grandes: más de 600 m<sup>3</sup>/mes

Como regla, por debajo del nivel de producción de 600 m<sup>3</sup>, el trabajo es prácticamente no mecanizado: las operaciones de corte se realizan con hachas y la madera se acarrea por medio de carretas tiradas por bueyes, a través de distancias que varían de 500 a 1,000 m. El proceso de carbonización se realiza en hornos de ladrillos cuya capacidad varía entre 12 y 25 m<sup>3</sup> de madera por carga.

El rendimiento medio de madera a partir de los bosques nativos es del orden de 2,7 estéreos (m<sup>3</sup>) de madera por m<sup>3</sup> de carbón vegetal. El proceso de carbonización, que comprende la carga, la carbonización, el enfriamiento y la descarga, lleva entre 4 y 8 días, dependiendo del contenido de humedad de la madera y el tamaño del horno. La vida útil de uno de estos hornos no es mayor a 24 meses, y esto explica el carácter nomádico de la operación.

Los hornos con un diámetro de 5 a 8 metros y una capacidad de 36 a 160 m<sup>3</sup> de madera, que se utilizan para la carbonización de madera de bosques hechos por el hombre, normalmente son empleados por los productores de carbón vegetal en la industria siderúrgica integrada.

### 5.1 Fabricación de carbón vegetal

Esta sección trata sobre la carbonización de los eucaliptos en los hornos estándares de ladrillo con forma de colmena (diámetro 5 m).

Estos hornos son construidos de ladrillo cocido ordinario, 25 cm de largo, 10 cm de ancho y 5 cm de alto. Como promedio, se utilizan 8,000 ladrillos para construir un horno con un diámetro de 5 m. para colocar los ladrillos, se emplea una mezcla de lodo de arcilla, arena fina y agua. Generalmente la mezcla está compuesta de tres o cuatro partes de lodo y una de arena y agua, lo suficiente como para obtener una buena mezcla.

Normalmente el horno es cargado por dos hombres, uno que coloca la madera en la puerta y el otro que la amontona dentro del horno. Primero, la madera entra en una posición vertical, cubriendo la porción cilíndrica del horno de tal manera que se evi-

ten espacios entre los troncos. Entonces se colocan los trozos de madera más delgados en posición horizontal, para llenar completamente todo el domo. Después de la carga, las puertas son selladas con un montón de ladrillos sin mortero. Estos son cementados a mano con un mortero hecho de una parte de lodo y una parte de arena cernida y agua.

El horno se enciende al verterle una pala de carbón encendido a través de la apertura central del domo (también se puede agregar corteza para facilitar el encendido).

El estado del período de combustión se indica por los gases de combustión: un humo blanco y espeso comienza a ser emitido por la apertura del encendido y los huecos del domo; al oscurecerse el humo (más o menos después de 15 minutos), la apertura es cerrada con ladrillos. La carbonización ocurre desde arriba hacia abajo y también en forma horizontal. Después de que se cierra la apertura del encendido, el humo comienza a salir por los orificios del domo, e inicialmente es blanco y espeso. Tan pronto oscurezca, se cierran dichos orificios, uno tras otro. Este procedimiento se extiende hasta la base del horno. El próximo paso es el de controlar la carbonización observando el humo emitido de las chimeneas. En el momento en que el humo se vuelve azulado, todas las chimeneas tienen que cerrarse, y así se inicia el período del enfriamiento. En esta fase, el horno ya está sellado para prevenir la entrada de oxígeno a la cámara.

Después del período de enfriamiento, el cual es controlado por el operador, quien simplemente pone la mano en la pared de la puerta para sentir la temperatura, se abre al horno y se descarga el carbón vegetal. El horno no debe ser descargado mientras la temperatura del carbón dentro de él exceda los 60°C, o el fuego puede encenderse otra vez espontáneamente. Usualmente la descarga es hecha por dos hombres con un tenedor especial y un canasto. El carbón es sacado del horno y amontonado en un sitio cubierto delante del horno. Aproximadamente una semana después, el carbón está listo para ser transportado por camión a los centros de consumo.

El sistema actual de fabricación de carbón vegetal en los hornos de ladrillo con forma de colmena, sin recuperación de subproductos y dejando residuos de madera (hojas y ramas de menos de 15 mm de diámetro) en el sitio de corte, se puede apreciar en una forma esquemática en la Figura N° 1.

Respecto a la utilización del potencial energético de toda la biomasa que se encuentra superficialmente, y considerando la recuperación del 50% en forma de finos (como ocurre en las acerías, en la sintetización), este sistema tiene una eficiencia de alrededor del 42%, tomando el poder calorífico (entalpía) del carbón (como es producido) y de la leña (25% humedad) como 7,000 Kcal/kg y 3,000 Kcal/kg, respectivamente.

El proceso como tal (en un horno de ladrillo con un diámetro de 5 m) presenta los siguientes datos técnicos:

- volumen de madera 37 m<sup>3</sup> por carga
- ciclo operacional:

• carga	4 horas (2 hombres)
• carbonización	96 horas
• enfriamiento	96 horas
• descarga	5 horas (2 hombres)
<b>TOTAL</b>	<b>201 horas</b>

#### RENDIMIENTO

- Rendimiento de carbón vegetal (base seca) = 29 a 33% en peso
- Rendimiento de carbón fijo (base seca) = 23 a 27% en peso
- Índice de conversión = 1.7 a 2.0 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de carbón vegetal

#### PRODUCCION

- Carbón por tanda = 18 a 22 m<sup>3</sup>
- Relación de productividad = 9.95 a 10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>/hora
- Suponiendo una densidad de 250 Kg/m<sup>3</sup> de carbón:
  - radio de productividad = 2.49 x 10<sup>-2</sup> t/h

Dos hombres se encargan de 9 hornos, cargando y descargando un horno por día y produciendo de 450 a 550 m<sup>3</sup> de carbón vegetal por mes. Esta relación de productividad varía con el tamaño del horno: mientras más grande sea, mayor la productividad.

Si se toma en cuenta solamente el proceso de carbonización, se tiene una eficiencia energética del 53%. La diferencia entre esta cifra y la anterior (42%) se debe a que los residuos forestales producidos durante las cosechas se dejan en el campo. Estos residuos representan un importante recurso potencial para la producción de energía ya que representan un 20% del total de la biomasa forestal en una plantación, tal como se explicará más adelante. En los cálculos se suponía que solamente un 50% de los finos producidos durante la carbonización y el manejo del carbón vegetal de hecho eran utilizados. Esta suposición está basada en las restricciones impuestas por el uso del carbón vegetal para fines metalúrgicos (en los altos hornos, el tamaño mínimo del carbón es de 19 mm). Para sustituir el combustóleo (bunker), todos los finos pueden ser aprovechados, especialmente si se tiene cuidado de no contaminarlos con tierra durante la carga de los camiones, el transporte y manejo. En este caso, la eficiencia energética del proceso aumentaría al 59%.

## 5.2 Desarrollos en la producción de carbón vegetal en Brasil

En los últimos años, se ha dado una atención cada vez mayor a la tecnología de la producción de carbón vegetal en el Brasil, involucrando no sólo el proceso de carbonización sino también la silvicultura, como se explicó anteriormente.

El trabajo en el campo de la carbonización está encaminado, fundamentalmente, a aumentar el rendimiento energético de toda la biomasa disponible en el bosque. Para lograr este resultado, se han visualizado las siguientes medidas:

- Aumento en la producción de carbón vegetal obtenida a través de la carbonización en los hornos de ladrillo con forma de colmena.

- Recuperación parcial y utilización de subproductos de la carbonización en dichos hornos.
- Desarrollo de tecnología más alta con mayores rendimientos de carbón vegetal y recuperación de subproductos.

Diversos estudios han sido hechos con el objeto de mejorar las características del proceso de carbonización en hornos de ladrillo con forma de colmena. Los resultados obtenidos hasta ahora señalan:

- la importancia de un tiempo adecuado de secado para la madera cosechada.
- un aumento en el rendimiento a través de un mejor control del aire dentro del horno.
- la recuperación del alquitrán obtenido por medio de la carbonización.
- la importancia de una adecuada capacitación del personal operador.

Además de estas medidas, algunas empresas brasileñas actualmente están buscando aprovechar para fines energéticos los residuos celulósicos derivados de la cosecha forestal. Básicamente estos son los objetivos perseguidos por Florestal ACESITA y otras compañías brasileñas durante los dos últimos años.

En Florestal ACESITA la carbonización se realiza con madera de un contenido de humedad por debajo del 30% (base húmeda). En este caso, el tiempo del secado lleva entre 90 y 120 días, según la temporada. En la época lluviosa, la madera **Eucalyptus** (en trozos de 1,3 a 2 m de largo) lleva 120 días en bajar la humedad a una menor del 30%.

Como se ha dicho anteriormente, la carbonización en los hornos brasileños de ladrillos con forma de colmena, se realiza controlando unos 56 orificios que permiten que la entrada de aire haga una combustión parcial de la madera para proporcionar calor para el proceso. Esto es difícil de controlar y normalmente se quema más madera de la necesaria. Con miras a



reducir el número de orificios a controlarse, Florestal ACESITA está probando una cámara de carbonización que sería adaptada al horno de ladrillos con un diámetro de 5 m, la cual ha arrojado resultados prometedores. Consiste básicamente en la transferencia del proceso de la quema de la leña, que normalmente se produce dentro del horno, a una cámara de combustión localizada debajo del piso del horno, eliminando así los huecos de entrada de aire y permitiendo el control del proceso a través de una válvula mariposa acoplada a la puerta de alimentación de la cámara de combustión. Como resultado, toda la carbonización puede controlarse mejor, y se pueden evitar las temperaturas altas (700° - 900°C) dentro de la cámara de carbonización.

El horno de la batería experimental de Florestal ACESITA tiene las siguientes características:

- volumen de madera - 37 m<sup>3</sup>, igual que en el horno convencional.
- producción por tanda - de 20 a 24 m<sup>3</sup> de carbón vegetal.
- ciclo de carbonización - similar al del horno convencional.

#### RENDIMIENTO

- producción de carbón vegetal (base seca) = 31-35% en peso
- índice de conversión = 1.65 m<sup>3</sup> de madera/m<sup>3</sup> de carbón vegetal.

Los resultados obtenidos hasta ahora muestran excelentes perspectivas para la utilización de dicho proceso de carbonización, debido a las siguientes razones:

- rendimientos más altos.
- operación más fácil, ya que el nuevo horno elimina la necesidad de las entradas de aire en la superficie.

- vida útil más larga del horno debido a la ausencia de temperaturas más altas.
- costos de instalación menores, por debajo de US\$ 400,00 (cámara de combustión).
- menor dependencia del proceso de condiciones externas (dirección del viento, por ejemplo).

Florestal ACESITA ya está evaluando los primeros resultados obtenidos de 50 hornos distribuidos en sus zonas productoras de carbón vegetal.

No hace mucho tiempo que el Grupo ACESITA, a través de sus empresas forestales subsidiarias, comenzó a desarrollar un nuevo proceso para recuperar el alquitrán generado en los hornos de ladrillo con forma de colmena. Un nuevo proceso de fabricación está siendo desarrollado por la Florestal ACESITA, en el cual los gases volátiles provenientes de la carbonización se colectan en la parte central del horno y pasan a través de una torre de lavado, ciclones y filtros (Figura N° 2).

El alquitrán obtenido de la carbonización es, para la industria siderúrgica integrada del Brasil, un excelente sustituto para el combustóleo (bunker) y presenta las siguientes ventajas:

- Puede ser producido por la empresa que lo va a aprovechar.
- Tiene una amplia disponibilidad.
- Ofrece una óptima fluidez para su uso en quemadores y una baja temperatura de precalentamiento de 40 a 50°C.
- Es un combustible limpio y prácticamente libre de ceniza y de azufre.
- Es un combustible líquido.
- Tiene un poder calorífico alto, de 5.500 a 6.500 Kcal/kg (un 60% del combustóleo o bunker).



El sistema que se está instrumentando en la Florestal ACESITA permite un promedio de recuperación de alquitrán del orden de 4.0% del peso seco de la madera. En términos de la madera utilizada por la empresa, esto significa un promedio de 120 kg de alquitrán por tonelada de carbón vegetal producida.

Considerando la producción mensual de la empresa, de 20,000 toneladas de carbón vegetal, hay una recuperación potencial de 2,400 toneladas de alquitrán por mes, o sea, un 60% de los requerimientos de combustóleo (bunker) de la acería de ACESITA esperados para 1983. Dentro de pocos años, además de suministrar todo el carbón vegetal de la acería. Florestal ACESITA también podrá producir suficiente alquitrán como para satisfacer los requerimientos de la planta en el calentamiento de sus altos hornos, o sea, el equivalente de todo su consumo de combustóleo.

Veinte de estas unidades, con una capacidad productiva de 3.6 toneladas/mes cada una, serán instaladas en este año. Los objetivos de estas unidades son:

- producción de alquitrán para su adaptación a sistemas de combustión como sustituto de los derivados del petróleo.
- desarrollo de sistemas de transporte y almacenamiento.
- establecimiento de centros de capacitación de personal, con miras al desarrollo de técnicas operacionales para la producción de carbón vegetal y la recuperación de alquitrán.
- desarrollo de sistemas de control de calidad y confiabilidad, con miras a su comercialización.

Al mismo tiempo, se diseñarán mayores desarrollos en el sistema para aumentar la tasa de la recuperación de alquitrán y reducir los costos. En cuanto a la utilización del potencial energético de toda la biomasa, con este proceso se tiene un 47%. En términos del rendimiento energético del proceso como tal, hay una eficiencia del 59%.

Paulatinamente va surgiendo en nuestro país un marcado interés en los procesos de carbonización continua. Estos sistemas, además de permitir mayores rendimientos, posibilitan la recuperación de casi todos los subproductos de la carbonización, sea para la fabricación de productos químicos o para su uso como un combustible con un poder calorífico mediano.

En esta área en particular, Florestal ACESITA ha estado experimentando con una nueva retorta que producirá 10 toneladas de carbón vegetal por día. La puesta en marcha de esta retorta, que será instalada en el Valle del Río Dulce, está programada para fines de 1983.

En el Brasil, el sistema de carbonización continua es 40 veces más costoso por unidad de producción que los hornos tradicionales de ladrillos con formas de colmena, pero muestra las siguientes ventajas:

- rendimientos más altos.
- posibilidad de actuar sobre carbonización para variar las características físicas y químicas del carbón vegetal.
- proceso limpio, donde prácticamente todos los subproductos son recuperables.
- larga vida útil, entre 20 y 30 años.

El uso de estos sistemas continuos también depende de la utilización de los subproductos que generan, para volver económico al proceso.

Como se observó anteriormente, la utilización de los residuos forestales dejados en el campo durante las operaciones de cosecha representa un importante recurso energético potencial. Los siguientes usos se están desarrollando en el Brasil en la actualidad:

- uso directo en calderas para suministrar calor industrial.
- producción eléctrica.
- conversión a un gas de bajo poder calorífico.



TABLA 5:  
**IMPACTO DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE TECNOLOGIA  
 SOBRE LA EFICIENCIA DE CONVERSION BOSQUE/ENERGIA**

NIVEL DE TECNOLOGIA	EFICIENCIA DEL PROCESO %	EFICIENCIA DE LA UTILIZACION DEL BOSQUE	INVERSION POR TONELADA POR AÑO EN LA CAPACIDAD PRODUCTIVA INSTALADA
A. Horno de ladrillo con forma de colmena sin recuperación de subproductos y residuos; suponiendo la utilización del 50% de los finos del carbón vegetal generados durante el manejo y transporte.	53	42	US\$ 6.00 Incluyendo solo los hornos con una vida útil de 4 años; horno de ladrillo con forma de colmena = US\$ 800
B. Igual que en A, pero utilizando los hornos con cámaras de combustión.	57	45	US\$ 7.00 Incluyendo los hornos con cámaras de combustión = US\$ 1.20; vida útil = 4 años.
C. Igual que en A, pero utilizando los hornos con recuperación de alquitrán insoluble.	59	47	US\$ 60.00 Incluyendo un equipo de recuperación de alquitrán (US\$ 17,000) por cada dos hornos; vida útil de los equipos de recuperación = 10 años; valor residual = 50%.
D. Hornos de ladrillo con forma de colmena, con cámaras de combustión, recuperación de alquitrán y utilización del 100% de los finos de carbón vegetal generados.	69	55	US\$ 62.00
E. Igual que en D, más conversión a carbón vegetal, utilizando pequeños hornos de ladrillos con forma de colmena con un 80% de los residuos forestales.		66	
F. Retorta avanzada de carbonización continua, con sólo la recuperación del alquitrán, sin la recuperación de los residuos forestales y el uso del 100% de los finos del carbón vegetal.	78	62	US\$ 280.00 Incluyendo solamente los hornos de carbonización continua sin recuperación del alquitrán soluble.
G. Retorta avanzada de carbonización continua con una recuperación completa de los subproductos (ácido acetático, metanol, alquitrán soluble), más la conversión del 80% de los residuos forestales en carbón vegetal y el uso del 100% de los finos del carbón.	78	72	US\$ 428.00 Incluyendo los hornos de carbonización continua, con la recuperación de alquitrán y ácido pirolíneo y un sistema de destilación para obtener ácido acético, metanol y alquitrán soluble.



- densificación para el uso arriba señalado, para minimizar los costos de transporte.
- conversión a carbón vegetal para usos generales, no para altos hornos.
- hidrólisis para la producción de alcohol y coque lignínico de alta calidad.

La primera alternativa que ha sido adoptada por unas pocas empresas de papel y celulosa, es bastante atractiva, principalmente para aquellas unidades industriales ubicadas cerca de sus zonas forestales y dentro de cortas distancias de transporte.

Como fuente de energía eléctrica, los residuos pueden ser aprovechados en una forma rentable en las zonas rurales que carecen de electricidad. Aunque tecnologías eficientes y confiables han sido desarrolladas para plantas pequeñas en diversos países, todavía no han sido construidas tales plantas en Brasil.

El desarrollo de los gasificadores es muy activo en el Brasil, con el objeto de utilizar la leña o el carbón vegetal. Este desarrollo no se dirige explícitamente al uso de residuos, aunque lo pueda hacer fácilmente. A través de la densificación, la fabricación de briquetas a partir de los residuos triturados de madera, se puede obtener un material más denso y más homogéneo, haciéndolo más adecuado para las tecnologías de gasificadores existentes y disminuyendo los costos de transporte.

Una manera alternativa de conseguir un producto más transportable a partir de los residuos es la de convertirlos en carbon vegetal. Hasta hace poco esta opción no se había desarrollado debido a que el carbón vegetal producido no se prestaba para uso en los altos hornos.

Sin embargo, es adecuado para sustituir al petróleo. La tecnología existente para los hornos se está adaptando para producir carbón vegetal a partir de los residuos. Aunque el factor compensación entre la densificación y el carbón vegetal todavía no ha sido analizado lo suficiente, parece ser que las tecnolo-

gías de conversión del carbón vegetal son más adaptables a la naturaleza dispersa de este recurso.

La hidrólisis ácida de la madera y los residuos se está desarrollando en el Brasil para producir etanol y coque lignínico. El rendimiento de la tecnología actual es de 150 litros de alcohol y 350 Kg de lignino (175 Kg de coque) por tonelada de residuos de eucalipto procesado. Para cada tonelada de madera procesada, se requiere de aproximadamente una tonelada para generar vapor para la planta, y en consecuencia la eficiencia energética global es baja (entre 20 y 25%).

### 5.3 Consideraciones finales

El esfuerzo por aumentar la producción energética de una determinada cantidad de biomasa forestal puede tener una mayor incidencia. La Tabla 5 resume el impacto que los diversos cambios tratados anteriormente pueden tener sobre esta medida de eficiencia, tanto a nivel individual como en combinación.

Vale la pena notar que una combinación de un costo relativamente bajo con modificaciones tecnológicas bajas (opción E de la Tabla) puede aumentar la producción energética de la biomasa disponible en el bosque en casi un 60%, al compararla con el procedimiento normal de hoy en día.

Todavía no se han tomado en cuenta los límites para la viabilidad y parece que varias de las opciones de baja inversión probablemente sean factibles.

## 6. ALGUNAS CIFRAS PARA LOS COSTOS DE LA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL EN EL BRASIL

A manera de ejemplo, en las próximas páginas se presenta el costo del carbón vegetal proveniente de los eucaliptos en zonas planas, donde los árboles están espaciados con 3 metros por 1.5 metros, y donde la vegetación es primitiva, o sea, malezas con una fertilización de 100 gramos de NPK por tallo.



**A. COSTOS DIRECTOS DEL ESTABLECIMIENTO DE UN BOSQUE EN PIE**

OPERACION	US\$/ha
Construcción de caminos y carrileras	20.07
Limpieza de localidades	125.15
Control de polillas	12.47
Arado	24.75
Rastra	14.52
Asurco	16.63
Producción de plantas de semillero (2.223 plantas por ha.)	131.00
Trasplante	181.48
Riego	25.06
Nuevas siembras	14.56
<b>TOTAL</b>	<b>565.69</b>

NOTA A LA PRIMERA TABLA: El costo de mano de obra se basó en el salario mínimo del país, más el 20% y un 43% adicional por el concepto de impuestos sociales.

**B. COSTO TOTAL DEL ESTABLECIMIENTO DE 1.000 HECTAREAS DE PLANTACION EFECTIVA**

CONCEPTO	ESTABLECIMIENTO DEL BOSQUE	MANTENIMIENTO PRIMEROS AÑOS	MANTENIMIENTO POSTERIOR	REGENERACION
1. Costo directo	565.690	30.170	13.490	34.540
2. Costo indirecto	85.520	4.920	2.390	5.150
3. Overhead (6% del 1 + 2)	39.073	2.105	953	2.381
<b>4. COSTO TOTAL</b>	<b>690.283</b>	<b>37.195</b>	<b>16.833</b>	<b>42.071</b>

NOTA: Mil hectáreas de plantación efectiva (la zona realmente sembrada con árboles) tienen asociadas con ellas zonas adicionales para carrileras, caminos, barreras contra-fuegos y zonas de conservación, cuyos costos están incluidos en los cálculos.

### C. COSTOS DE MADERA VIVA

ROTACION	CONCEPTO	PERIODO	US\$/HA/ AÑO
1ª	Establecimiento del bosque	1er. año	690.28
	Mantenimiento (1er. año)	2do. año	37.20
	Mantenimiento (años posteriores)	del 3ro. al 7mo. año	16.83
2ª	Regeneración	8vo. año	42.07
	Mantenimiento	del 9no. al 13ro.	16.83
3ª	Regeneración	14to. año	42.07
	Mantenimiento	del 15to. al 20mo. año	16.83

Además de la inversión en el bosque mismo, el costo de las tierras también tiene que considerarse. El valor de US\$ 100/ha se tomará como representativo de suelos cerrados situados dentro de un radio de 400 km de las principales acerías en el Estado de Minas Gerias; se supone una tasa de interés del 3% para calcular los retornos sobre la inversión.

Considerando los últimos rendimientos logrados en el Brasil con un espaciamiento de 3 metros por 1.4 metros, se pueden estimar las siguientes cosechas:

- 1er. corte: 34 m<sup>3</sup>/ha/año x 7 años = 238 m<sup>3</sup>/ha
- 2do. corte: 30 m<sup>3</sup>/ha/año x 6 años = 180 m<sup>3</sup>/ha
- 3er. corte: 30 m<sup>3</sup>/ha/año x 6 años = 180 m<sup>3</sup>/ha

Estas son estimaciones conservadoras en términos del valor medio de las nuevas plantaciones de eucaliptos en el Brasil. Por ejemplo, las nuevas plantaciones comerciales de Florestal Acesita están arrojando las siguientes cifras en tres regiones diferentes:

- Valle de Jequitonhonha: una región cerrada (savana) - 40 m<sup>3</sup>/ha/año
- Valle del Río Dulce: una región más húmeda y caliente - 50 m<sup>3</sup>/ha/año
- Estado del Espírito Santo: una región cerca de la costa con una pluviosidad bien distribuida en todo el año; muy caliente - 70 m<sup>3</sup>/ha/año.

Los costos de la madera viva para diferentes tasas de descuento son:

CONCEPTO		US\$/m <sup>3</sup>	US\$/t*
TASA DE DESCUENTO	10% anual	4.54	9.08
	8% anual	3.83	7.66
	1% anual	1.98	3.96

\* Se ha supuesto que un metro cúbico (m<sup>3</sup>) tiene 500 kg con una humedad del 25%.

**D. FABRICACION DE CARBON VEGETAL: LOS COSTOS  
DIRECTOS (US\$/m<sup>3</sup> DE CARBON)**

CONCEPTO	MADERA DE EUCALIPTOS		MADERA NATIVA		
	ZONA PLANA		ZONA EMPINADA	ZONA PLANA	
	MANUAL	SEMIME- CANIZADO	MECANI- ZADO	SEMIMECA- NIZADO	MANUAL
— Despejo de malezas	0.23	0.23	0.23	0.32	0.43
— Corte	2.19	2.19	1.89	3.01	2.46
— Apilamiento	—	—	0.87	—	—
— Transporte directo al horno	2.64	2.64	—	—	1.35
— Transporte al camino	—	—	2.02	3.17	—
— Transporte a los hornos (no directo)	—	—	1.34	1.68	—
— Fabricación del carbón vegetal	3.25	3.25	2.85	2.85	2.83

NOTA A LA TABLA D: La operación de despejo o limpieza de las malezas se realiza manualmente diez días antes del corte. La operación de apilamiento facilita la operación subsiguiente de carga manual. Una tasa de conversión de 2.3 estéreos por m<sup>3</sup> fue supuesta para la madera de los eucaliptos y 2.7 estéreos por m<sup>3</sup> de carbón vegetal para la madera nativa.

La siguiente tabla define los sistemas de producción de carbón vegetal: manual, semimecanizado y mecanizado, con miras a su mejor comprensión.

**D.1. Descripción de los sistemas de producción de carbón vegetal**

TIPO DE MADERA	CONDICIONES DEL SUELO	SISTEMA	DESCRIPCION
EUCALIPTOS	zona plana	manual	— Corte de los árboles con hachas — Transporte directamente al horno, por mulas — Carga manual del carbón vegetal
		semi mecanizado	— Corte de los árboles con hachas — Transporte directamente al horno, por camión — Carga manual del carbón vegetal
		mecanizado	— Corte de los árboles con sierras de cadena — Transporte al camino, por un tractor y con un cargador mecánico — Transporte al patio de los hornos, con un camión y un cargador mecánico — Carga del carbón con un cargador mecánico
	zona empinada	semi mecanizado	— Corte de los árboles con sierras de cadena. — Transporte al camino, por mulas — Transporte a los hornos, por camión — Carga del carbón con un cargador mecánico
NATIVAS	zona plana	manual	— Corte de los árboles con hachas — Transporte directamente al horno, por bueyes — Carga manual del carbón vegetal

### E. COSTO TOTAL DE LA FABRICACION DE CARBON VEGETAL (US\$/m<sup>3</sup>DE CARBON)

CONCEPTO	MADERA DE EUCALIPTOS			MADERA NATIVA	
	MANUAL	SEMIMECA- NIZADO	MECANI- ZADO	SEMIMECA- NIZADO	MANUAL
1. Costo directo	8.31	8.10	9.20	11.03	7.07
2. Costo indirecto	2.40	2.08	1.45	2.08	0.52
3. Overhead (6% de 1 + 2)	0.64	0.61	0.64	0.79	—
4. Costo financiero	0.76	0.84	1.19	1.32	0.49
<b>5. COSTO TOTAL</b>	<b>12.11</b>	<b>11.64</b>	<b>12.48</b>	<b>15.22</b>	<b>8.08</b>

NOTA: El costo financiero incluye los cargos financieros sobre las inversiones y el capital de trabajo.

### F. COSTOS DEL TRANSPORTE DEL CARBON VEGETAL

En el Brasil, siempre se habla del carbón vegetal en términos de volumen. Se produce una reducción de volumen cuando el carbón es sacado del centro de producción al centro de recepción de la planta. Esta reducción es provocada por dos factores: primero, hay una pérdida debido a la generación de finos, causada por las operaciones de manejo dentro de la batería o depósito, y segundo el carbón flojo se asienta durante el transporte, llenando así los vacíos y disminuyendo el volumen inicial.

Como promedio, la pérdida total de volumen entre el patio de las baterías y el centro de recepción, puede ascender a los siguientes porcentajes:

— pérdida debido a las operaciones de manejo:	2%
— pérdida debido a la "sedimentación" durante el transporte	5%
<b>Pérdida total</b>	<b>7%</b>

El almacenamiento del carbón vegetal en un depósito intermedio puede provocar una pérdida adicional del volumen del 8%.

Cabe señalar que estas reducciones en cantidad son importantes solamente cuando la medida del carbón está expresada en términos de volumen. Obviamente las medidas gravimétricas no mostrarían el mismo nivel de "Pérdida" de carbón.

El transporte del carbón vegetal hecho con made-

ra nativa puede corresponder a camioneros particulares o los mismos carboneros. Generalmente, las acerías mantienen su propia flota de camiones, para transportar una parte del carbón que requieren.

El costo del flete del transporte por camión varía según la distancia:

Distancia (Km)	US\$/m <sup>3</sup> de carbón vegetal
200	2.75
400	4.80
600	6.90
800	8.96

### G. COSTO FINAL DEL CARBON VEGETAL (CIF - PLANTA)

	CARBON VEGETAL			
	DE MADERA DE EUCALIPTOS		DE MADERA NATIVA	
	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/ton.	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/ton.
1. Madera viva	8.8	35.24	1.35	5.40
2. Carbonización	12.00	48.00	8.08	32.32
3. Transporte	6.45	25.80	7.76	31.04
<b>4. TOTAL</b>	<b>27.26</b>	<b>109.04</b>	<b>17.19</b>	<b>68.76</b>

Las distancias supuestas de los centros de producción a la planta de producción a la planta son 400 Km para el carbón vegetal producido en base a la madera de eucaliptos y 600 Km para el producido en base a la madera nativa.

Los costos de transporte incluyen flete, una pérdida de volumen del 7% y el costo de almacenamiento intermedio.

FIGURA 1

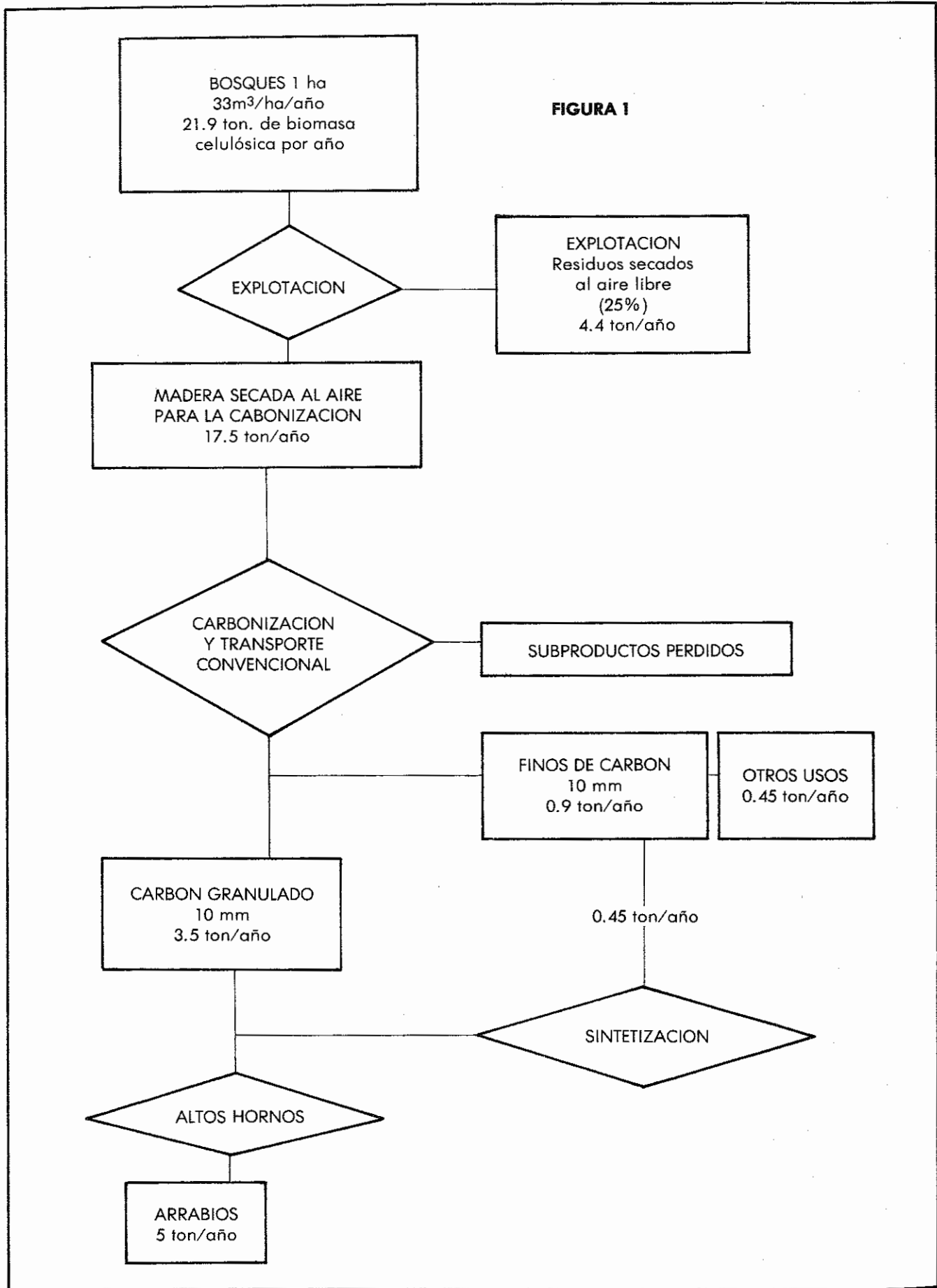
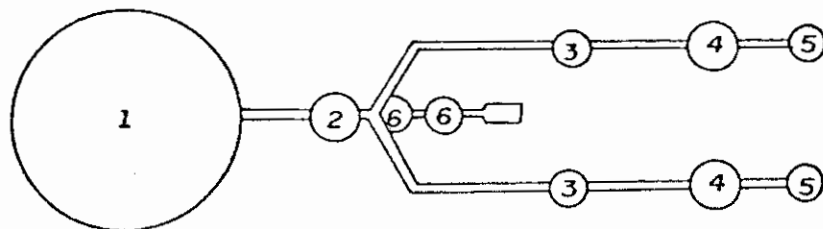
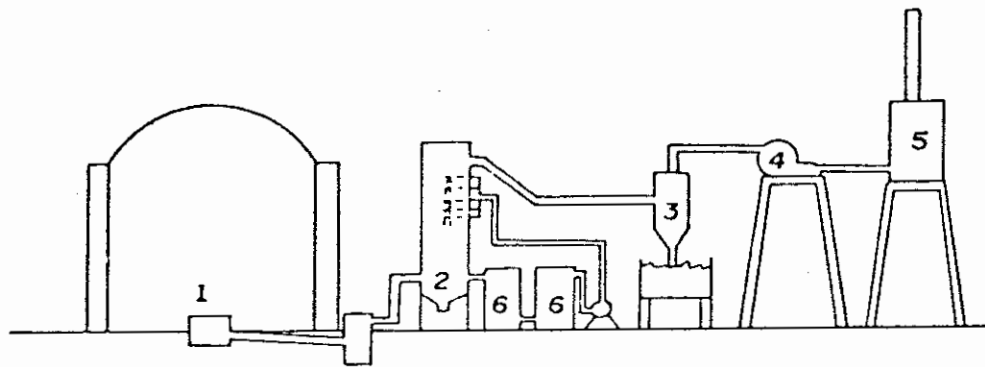


FIGURA 2

**EQUIPOS DE RECUPERACION DE ALQUITRAN DE LOS HORNOS DE LADRILLO TIPO COLMENA**



- 1. HORNO
- 2. TORRE DE LAVADO
- 3. CICLON
- 4. AGOTADOR
- 5. FILTRO
- 6. TANQUES DE RECOLECCION

# MAN-MADE FORESTS FOR WOOD AND CHARCOAL IN BRAZIL

**Mauricio Hasenclever B**  
**José Geraldo Rivelli M.**  
FLORESTAL ACESITA S.A.  
Belo Horizonte - Minas Gerais  
BRAZIL

## FOREWORD

This report was prepared by Florestal Acesita S.A., a subsidiary of the steel company, Cia Aços Especiais Itabira S.A. (ACESITA), which produces some 600,000 tons of special steel per year.

Florestal Acesita S.A. (FLORASA) supplies the steel plant with approximately 1.8 million cubic meters (450,000 tons) of charcoal per year. Approximately 60% is delivered from its own eucalyptus plantations. FLORASA has an R&D Program which involves investigations in forestry, from seed production to forest exploitation and the development of carbonization processes including by-products recovery.

FLORASA has planted 150,000 ha with **Eucalyptus**, divided into three locations: Jequitinhonha and Rio Doce Valley (with 85,000 and 54,000 ha, respectively), in the State of Minas Gerais and an area of 9,000 ha located in the states of Espírito Santo and Bahia, near the coast.

The parent company, ACESITA, is owned by Banco do Brasil S.A., a Brazilian government bank.

The task force responsible for this report included:

- Mauricio Hasenclever Borges - Civil Engineer  
President of Florestal Acesita S.A.
- José Geraldo Rivelli Magalhães - Forestry Engineer  
Assistant to the Production Director of Florestal Acesita

- Mauro Rodrigues de Almeida - Metallurgical Engineer, MSC  
Assistant to the Production Director of Florestal Acesita
- Rubem Mario de Melo e Souza - Business Administrator  
Manager of Florestal Acesita's Consulting Group

## CHARCOAL PRODUCTION IN BRAZIL

### 1. INTRODUCTION

Due to the rising oil price and growing risk of continued disturbances in oil supply, firewood, and charcoal have become two of the most important sources of industrial energy in Brazil. The planting of forests for energy purposes is becoming competitive with other sources, especially for those countries which lack fossil fuels. Besides that, forest planting and charcoal production can use a wide range of technology levels (from totally manual to highly mechanized) suitable to the economic and employment conditions of a given country. For developing countries, charcoal production— from man-made forests or from the woody material recovered from forest-clearing for agricultural and cattle-raising purposes— can be of great aid in generating or maintaining employment in rural areas, with low levels of investment.

Brazil for many decades had produced charcoal for use in the iron and steel industry. About 5 million tons are produced per year from native and man-made forests. Brazil has planted more than 4 million hectares



of man-made forest for use as firewood, charcoal, and pulp, paper and lumber, as can be seen in Table 1.

Charcoal has primarily been used in Brazil as a thermo-reductant in the iron and steel industry. Its role has been made more prominent over the last decade due to rising coke prices, which have made charcoal more competitive for pig iron and steel production and

increased the importance of detailed attention to the use and production of the thermo-reductant since this comprises more than 60% of total pig iron production costs.

An even more fundamental change has occurred as a result of the worldwide increase in petroleum prices, which has had a large negative impact on Brazil's trade situation.

**TABLE 1**  
**MAN-MADE FORESTS PLANTED IN BRAZIL**

YEAR	PINUS	EUCALYPTUS	ARAUCARIA	OTHERS	TOTAL
1976	18,159	13,877	1,729	994	34,759
1968	60,899	30,057	7,330	4,624	102,910
1969	96,798	53,800	7,670	4,115	162,383
1970	119,913	83,609	12,030	6,453	222,005
1971	98,053	129,053	8,080	13,284	248,470
1972	101,060	172,441	7,756	23,090	304,356
1973	86,181	161,132	7,828	39,013	294,154
1974	83,245	188,336	7,530	45,268	324,379
1975	94,222	222,718	6,618	74,282	398,240
1976	107,001	262,337	4,846	95,065	469,249
1977	99,277	194,352	758	52,045	346,432
1978	140,726	228,068	902	42,001	411,697
1979	117,944	282,420	1,332	72,022	473,718
1980	88,650	271,550	200	75,175	435,575
1981	117,160	229,675	350	71,690	418,875
1982	129,069	175,786	740	50,518	356,113
1983	73,565	91,035	230	53,620	218,450
<b>TOTAL</b>	<b>1,558,357</b>	<b>2,699,211</b>	<b>75,929</b>	<b>723,668</b>	<b>5,221,765</b>

\* Estimated data, based on projects authorized by the Brazilian Institute for Forestry Development (IBDF)





Despite many initiatives in the energy sector, Brazil's policy of highly subsidized fuel oil prices effectively kept charcoal and firewood from playing any significant role in substituting imported oil. This subsidy was based primarily on the belief that industry would not respond to higher fuel oil prices by increasing the efficiency of energy use. In late 1979 and 1980 the government's policy changed and fuel oil prices were increased to approximately the world market level. This opened up prospects for the economically - viable substitution of fuel oil in industry, by firewood and charcoal; and since that time there has been considerable activity in this direction.

Taking into account only the iron and steel production, it is interesting to note that, among the alternatives to produce pig iron and steel, those using charcoal result in the lowest production costs in Brazil; and we believe that this will hold true for many other developing countries which, like Brazil, do not have high-grade metallurgical coal.

## 2. MAGNITUDE OF CHARCOAL USE IN BRAZIL'S STEEL INDUSTRY

Charcoal has a prominent place in the country's production of pig iron. The Brazilian steel industry was charcoal-based at birth and gradually gave way to imported coal. Table 2 shows the evolution of pig iron production in the 70's, using coke as well as charcoal. For such production, there was an annual charcoal consumption rate as shown in Table 3.

Almost all charcoal is produced from the exploitation of native forests, most of which come from forest-clearing operations for farm expansion. That can be seen in Table 3 if one analyzes the difference between charcoal purchased and consumed by integrated steelworks, which approximates the charcoal which comes from forests. If one considers the average density of 250 kg of charcoal per cubic meter, then the Brazilian iron and steel industry consumed close to 3.9 millions tons in 1980.

TABLE 2

### PIG IRON PRODUCTION (1) - x 1 000 TONS

PIG IRON	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Using coke	2,327	2,499	2,759	2,827	2,689	3,423	4,141	5,537	6,199	7,282	7,744
Using charcoal*	1,878	2,187	2,540	2,706	3,157	3,630	4,029	3,843	3,844	4,312	4,941
<b>TOTAL</b>	<b>4,205</b>	<b>4,686</b>	<b>5,299</b>	<b>5,533</b>	<b>5,846</b>	<b>7,053</b>	<b>8,140</b>	<b>9,380</b>	<b>10,043</b>	<b>11,594</b>	<b>12,685</b>

**\*Participation of charcoal**

Pig iron from electric reduction furnace using charcoal included  
 SOURCE: IBS - Brazilian Institute of Iron and Steel

**TABLE 3**  
**CHARCOAL CONSUMPTION (1) x 1 000 m<sup>3</sup>**

YEAR	IRON AND STEEL INDUSTRY *		ESTIMATED CONSUMPTION FROM INDEPENDENT PRODUCERS **
	PURCHASED ON DOMESTIC MARKET	CONSUMPTION	
1972	5,105	5,591	3,317
1973	5,385	5,802	3,688
1974	6,095	5,998	5,040
1975	6,297	7,001	6,192
1976	5,955	6,143	7,717
1977	5,834	6,785	6,772
1978	5,232	6,333	7,069
1979	6,173	7,430	7,988
1980	7,498	8,786	8,917

\* Only integrated steelworks, producing steel and/or cast tubs

\*\* Companies producing only pig iron

SOURCE: IBS - Brazilian Institute of Iron and Steel

### 3. CHARCOAL SOURCES IN BRAZIL

Charcoal production arises as a secondary activity to agriculture and/or livestock-raising. As soon as the woody material is felled, the farmer is faced with a problem: either to burn it or sell it as charcoal for energy purposes. Depending on the distance from the consuming centers, he produces charcoal which gives him enough money to prepare the land for alternative uses.

More than 80% of the charcoal comes from these activities, from native wood. The estimated current rate of deforestation for pasture and crop land expansion is almost 4 million hectares per year.

Although in Brazil a sustainable program of fuel oil substitution by firewood or charcoal will depend on an adequate level of planting over the next few years,

any significant increase in substitution (cement, ceramics, steam production, heating furnaces, etc.) must come largely from native forests.

### 4. REFORESTATION IN BRAZIL: CONSIDERATIONS

The formation of man-made forests with exotic species began around 1900 in Brazil, with the pioneering work of Edmundo Navarro de Andrade. The first research projects were then started in an attempt to identify fast-growing species which would yield a large volume of wood per hectare, to supply the demand of the Sao Paulo State Railway Company, both for railroad ties as well as fuel for the locomotives.

Frustrating experiments with native species directed attention to exotic species; and from the start, great attention was given to the **Eucalyptus spp**, originally from Australia and, to a lesser extent, from the Phillipines, Indonesia and New Guinea.

Its productive capacity, resistance to disease and to insects, and adaptability have all made the **Eucalyptus** the main target of the on-going reforestation program in Brazil. More than 4 million hectares have been reforested to date, approximately half being planted with **Eucalyptus** species and the rest with various **Pinus** species. Fifteen years after the Forest Code was elaborated, Brazil now benefits from a major increase in its reforestation activity, mainly in large plantations, which reach a yearly rate of 400,000 hectares.

Tax (or fiscal) incentives were created in the 1960's to benefit the forest sector. Through such a mechanism, the Federal Government attempted to make the Brazilian businessman more conscious of the importance of forests to the nation's economy. There was a rush to plant great forest stands. By the end of the 1970's, a new process had been introduced, with more emphasis on forestry research. New techniques for quality improvement began to be employed, as well as ecologically-stronger species with improved seeds; the system of forest management was changed; the harvesting cycle was changed; the harvesting cycle was reduced, etc.

#### 4.1. Forest Establishment

Forest establishment is a process consisting of a series of steps which comprise an operation ranging from site selection to actual planting.

Ecological as well as economic zoning criteria have been established in Brazil:

On the economic side, regions are grouped according to whether they meet certain conditions allowing the formation of large forest stands for future industrial use. Such areas are called Forest Districts.

On the ecological side, Brazil is divided into 26 bio-climatic regions, with each division taking into account the types of climate, altitude, topography, vegetation, average annual temperature and rainfall, frosts and water shortages, types of soil, etc.

This double-pronged economic and ecological zoning is the basis for the choice of areas. The greater part of reforestation is located in the south-central region of Brazil.

##### 4.1.1 CHOICE OF SPECIES

Most of the initial *Eucalyptus* planting involved basically two species: *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*. This was due to limited knowledge about other species and to the fact that these two species were easily manageable both in the nursery and in the field. In addition, their seeds are readily available and they show marked adaptability and productivity. Other species were used to a lesser extent: *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus alba* (a Rio Claro hybrid), etc.

Research has led to the use of other species. This has been made possible by the introduction of new species and origins to study specific technological characteristics for the utilization of wood as an energy source. The Forestry Research and Development Project (PRODEPEF), a joint effort between the Brazilian Government, through its Brazilian Institute for Forestry

Development (IBDF), and the Food and Agriculture Organization (FAO), made possible the introduction of new *Eucalyptus* species and origins during the period 1974 - 78.

This PRODEPEF program had as its goal the testing of species and origins, according to ecological zoning. Thus, 400 origins of 45 species were introduced in the south-central area of Brazil foremost among them being *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus tereticornis*. In the "cerrado" regions, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus cloeziana* were also planted.

A conclusion drawn from these experiments was that climatic factors were more decisive and relevant than soil characteristics in species selection. Climate has a bearing on the plant's suitability for a certain ecological condition, while soil mainly influences production. Thus, the results shown in Table 4 would be 2 or 3 times greater if they were from a woodland region.

TABLE 4

#### PRODUCTIVITY OF 10 SPECIES OF EUCALYPTUS IN "CERRADO" SOIL - AGE: 5 YEARS - JEQUINTINHONHA VALLEY - BRAZIL

SPECIES	HEIGHT (m)	DIAMETER (cm)	VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)
1 E. PILULARIS	15.25	13.72	187.92
2 E. GRANDIS	16.01	12.87	173.60
3 E. PILULARIS	15.40	12.34	153.51
4 E. CLOEZIANA	12.08	12.38	121.20
5 E. PROPINQUA	13.55	11.52	110.38
6 E. SALIGNA	12.85	10.33	89.76
7 E. EXERTA	10.81	10.97	85.16
8 E. TERETICORNIS	11.11	10.37	78.21
9 E. EXERTA	9.97	10.83	76.55
10 E. UROPHYLLA	11.44	9.87	72.94

SOURCE: Nascimento Filho e Magalhães

The different behavior of species and origins, according to the edapho-climatic characteristics, which are the result of genotype-phenotype interaction, shows the importance of a proper choice not only of species, but also the geographic origin of the seed.

Another factor determining species selection is the proposed use of the material. Specifically regarding wood for charcoal production, an important characteristic is density, which varies as a function of species, location, age, and growth rate.

As regards species, some FLORASA studies have shown that species such as **E. grandis** and **E. saligna**, although among those most widely planted, are in the low-density group, between 0.4 and 0.5 gr/cm<sup>3</sup>. Species such as **E. robusta**, **E. tereticornis** and **E. camaldulensis** are among the medium-density species. In the high-density group we find **E. citriodora**, **E. cloeziana**, **E. maculata**, **E. paniculata**, etc., having a density of around 0.6 gr/cm<sup>3</sup>.

Ecological conditions greatly influence density, since there is a close correlation with growth rate. A higher growth rate is matched by lower densities, and so species planted in two different locations will, at the same given age, have two different density values. The age of a stand of trees is another factor which influences density, in certain conditions. Studies in a population of **E. urophylla**, **E. grandis**, and **E. saligna**, (ages from 2 to 9 years) have shown that density has a linear relationship to age.

In summary, species selection demands that all the variables previously mentioned be taken into account, so as to take the best advantage of the soil, both qualitatively and quantitatively.

#### 4.2 Production of Seedlings

Several factors interact in order for a tree plantation to have a good yield. Some of these factors are: species, fertilization, crop-tending, and so on. Individually, one single factor does not mean much; it is the interaction of all the factors that is important. However, basic success rests with the nursery stage.

Badly-formed seedlings result in non-productive plantations, unresponsive to fertilization and to crop-tending. In other words, such seedlings may spell financial disaster.

When forestry first started in Brazil, the production of seedlings copied what was done in horticulture. Seeds were planted in spear-made holes in beds and, sometime after germination, were transplanted to containers. "Torrao Paulista" — which consisted of a mixture of clay and organic material—was long used for packing.

The planting of large forest stands led to the creation of new nursery techniques. The stand's large dimensions called for new containers, new seeding methods, irrigation systems, management, etc. The most common seeding container used today is the polyethylene bag measuring: height = 15 cm; diameter = 11 cm; plastic thickness = 0.05 cm. Subsoil mixed with a certain amount of fertilizer (which varies from region to region) is used as the container filling. Florestal Acesita does not currently mix fertilizer with the soil used for container-filling. Rather, fertilizer is applied through irrigation water; and that allows for a better control of seedling growth, even to the point of hastening or delaying it, as called for by the planting schedule.

In seeding, which generally occurs 120 days before planting, 3 or 4 seeds are placed in each polyethylene container. After seeding, the seed is covered by a thin layer of earth and then by another layer of rice husks or grass clippings so that the surface may be protected against direct sunshine and moisture loss.

One alternative to the classic seed-seedling process is a new production technique recently introduced in Brazil. It consists of rooting leaf cuttings from selected trees. This results in excellent productivity since only superior trees are used.

This rooting technique is quite simple, although it requires special conditions. Greenhouses are built so as to avoid direct sunlight. A screened structure is erected to filter and evenly distribute sunlight. The screen also serves as protection, against hail and heavy summer rainstorms, and reduces the impact of both winds and temperature.

Such a technique has been successful along the Brazilian seacoast, where environmental conditions are extremely favorable. The ideal temperature is around 24°C, and the relative humidity in the greenhouse has to be kept at around 100%. This calls for the installation of an automatic water-mist system. The demand for these special conditions has hampered the expansion of this technique to other areas in Brazil, where the average winter temperature is low. To overcome such drawbacks, several experiments are now under way, in an attempt to arrive at a heating system coupled with biological stimulants that may improve the rate at which cuttings successfully root. While in these difficult regions this survival percentage of rooted cuttings is around 40–50 %, on the seacoast it reaches 70% without stimulants. Seedling fertilization, protection and selection all follow the same patterns as in the traditional process.

### 4.3 Tree Spacing

Up to the end of the past decade, the formation of man-made forests in Brazil followed traditional systems, including standard spacing. Until 1967, plantings with a company's own resources, especially those of iron and steel companies, had a 2.0 x 2.0 m spacing, with three cuttings at seven-year intervals. Later, as fiscal incentives were granted and fertilizers were used, spacing was increased to 3.0 x 2.0 m. This system persisted until very recently, when a 3.0 x 1.5 m spacing was initiated. Florestal Acesita's experiments have shown that this latter spacing is superior to the former by some 25%.

Spacing, which has a direct influence on rotation age, should be decided by the eventual use of the wood. In denser plantings, a greater competition for light and nutrients will set in sooner than in stands with a greater spacing (less plants per unit area), so that these trees may be harvested at an older age than the former.

On-going research on charcoal production shows that wood from younger, smaller trees yields a product with better physical and mechanical characteristics.

In defining spacing, other factors must also be

taken into account, such as species, edapho-climatic characteristics, forestry practices, and so on.

Experimental work has shown that tree diameter is greatly influenced by spacing and, ultimately, will be reflected in the total volume of wood per hectare.

Experiments have also shown, for instance, that species behavior differs in terms of competition for water, light and nutrients. This competition may reach such a level that, in a stand, the stronger trees at a certain age may eliminate others. Greater or lesser spacing determines when self-thinning begins, and its level is important to genetic improvement. In the case of heterogeneous material, a number of dominant trees will eliminate the others during self-thinning.

As mentioned, rotation age depends upon spacing. The greater the space between trees, the more advanced the age for harvesting without any stagnation in volume.

On-going tests at FLORASA have demonstrated that, in addition to area per plant, spacing arrangement is also fundamental to development and survival at a given age. A test has been made in which 5 spacing models were established, ranging from a symmetrical one where trees receive light evenly, to a grouping of 2 and 4 trees in a row or alternated between rows.

At the age of 16 months, it can be observed that survival has been influenced by area per plant, and that survival and area per plant increases go hand-in-hand. The results already observed are partial and will be altered because of age; nevertheless, a modal interaction of spacing vs. area/plant can already be seen.

Since 1980 a profound change has been taking place in the technical parameters guiding the formation of short-rotation forests for the generation of energy wood, either used directly as firewood or as charcoal. This change should bring about a reduction in the rotation age and, consequently, in spacing. Within this framework, FLORASA had pilot-plantings done in 1980, in 2.0 x 1.0 m and 1.5 x 1.0 m spacings. This was done on flatlands as well as in mountain country, and data is being collected to decide the rotation cycle.

The increase in number of trees per hectare will imply a higher cost for forest establishment due to the use of more fertilizer, more seedlings and more labor. On the other hand, the cutting cycle will be reduced from 7 to 3 or 5 years, and there will be more cuts (instead of 3, up to 4, 5 or 6).

#### 4.4. Fertilization

Planting uses fertilizers based on nitrogen, phosphorus and potassium, with levels varying as a function of soil characteristics and tree spacing. In general 350 kg of NPK (5-30-10) is used per hectare.

Very recently Florestal Acesita has been testing natural phosphate rock as a fertilizer substituting part of the 350 kg of NPK per ha. Results obtained up to now are positive in terms of increased productivity, mainly for "cerrado" soils poor in phosphorus.

### 5. CHARCOAL TECHNOLOGY

All the charcoal produced in Brazil up to now has been based on the use of brick beehive kilns, which differ somewhat in size and shape, depending on whether the charcoal production activity is geared to native or man-made forests.

Two approaches could be considered, as far as wood carbonization in brick kilns is concerned:

- **Native Forests:** small kilns with a capacity of less than 20 steres of wood and grouped in batteries of 4 kilns and located at the cutting site.
- **Man-made Forests:** large kilns, with a capacity of more than 20 steres and grouped in batteries of 7-9 kilns making up more or less centralized charcoal plants of up to 10-11 batteries (70 to 100 kilns).

Native-wood charcoal-making is to a large extent derived from a nomadic practice involving the utilization of woody material generated from the clearing of land for agricultural and livestock-raising operations. Hence, it is important to highlight some characteristic features of the activity performed by the owners of rural estates:

—The use of woody material is a by-product of agricultural and livestock-raising activities.

—In areas where the woody material is not put to any practical use, burning of all the vegetation is common practice among rural populations.

—In Brazil, the practice of systematic and controlled regeneration of native stocks, which could otherwise be implemented on a large scale, is very limited.

—The depletion of natural resources due to the clearing of vast woodlands for agricultural purposes has brought about successive increases in transportation costs, as the charcoal-producing front is forced to move further away from the centers of consumption. Some years ago, the average radius of transportation was about 150 km; today it is about 500 km.

This "always-on-the-move" characteristic of the charcoal-making sites leads to the setting-up of small charcoal-making systems, with low investment costs and limited life-spans (1 to 2 years), following the deforestation route.

Generally, the makers of charcoal from native forests are grouped into three categories, depending on their output:

Small charcoal makers -	up to 200 m <sup>3</sup> /month
Medium charcoal makers -	from 200 to 500 m <sup>3</sup> /month
Large charcoal makers -	over 600 m <sup>3</sup> /month.

As a rule, below the 600 m<sup>3</sup> production level, work is practically non-mechanized: felling operations are carried out with axes, and the wood is transported on ox-drawn carts over distances varying from 500 to 1000 m. The carbonization process is carried out in brick whose capacity varies from 12 to 25 steres of wood per ovens load.

The average yield of wood from native forests is on the order of 2.7 steres of wood per m<sup>3</sup> of charcoal. The carbonization process, encompassing loading, carbonization, cooling and unloading, takes about 4 to 8 days, depending on wood moisture content and kiln

size. The life-span of such a kiln is no longer than 24 months, which accounts for the nomadic character of the operation.

Kilns with diameters of five to eight meters and a capacity of 36 to 160 st of wood, for the carbonization of wood from man-made forests, are usually used by the Brazilian charcoal-makers of the integrated iron and steel industry.

### 5.1 The Manufacture of Charcoal

This item deals with the carbonization of eucalyptus trees in standard brick beehive kilns ( 5 meters in diameter).

These kilns are built of ordinary fire bricks, 25 cm long x 10 cm wide x 5 cm high. On the average, 8,000 bricks are used for the construction of a 5-meter-diameter kiln. To lay the bricks, a mixture of clay slurry, fine sand, and water is used. Generally, the mixture is made up of three to four parts slurry and one part sand and water, enough to obtain a good mixture.

The kiln is usually loaded by two men: one who places the wood at the door and another who piles it inside the kiln. The wood is first placed in a vertical position, covering the cylindrical portion of the kiln in such a way as to avoid gaps between the logs. Next, the thinner pieces of wood are laid horizontally, filling the entire dome. After loading, the doors are sealed with piled-up bricks, with no mortar. These are plastered by hand with a mortar made of 1 part slurry and 1 part sieved sand and water.

The kiln is ignited by pouring a shovelful of live charcoal embers into the central opening of the kiln dome (wood bark may be added to facilitate ignition).

The state of the combustion period is indicated by the combustion gases, a thick white smoke issuing from the ignition opening and dome portholes. When the smoke begins to get dark (more or less 15 minutes, the opening is closed up with bricks. Carbonization proceeds from top to bottom and also horizontally. After the ignition opening is closed, smoke, initially white and dense, begins to issue from the dome outlet portholes.

As soon as the smoke becomes dark, the dome portholes are closed one after another. This procedure extends down to the base of the kiln. The next step is to control carbonization by observing the smoke issuing from the chimneys. The moment the smoke color turns bluish, all the chimneys must be closed; this signals the beginning of the cooling period. At this stage, the kiln is already sealed to prevent any oxygen from entering the chamber.

After the cooling period, which the operator controls by simply putting his hand on the door wall and feeling the temperature, the kiln is opened and the charcoal is unloaded. The kiln must not be unloaded as long as the charcoal temperature inside the kilns is above 60°C; otherwise, the fire may start again spontaneously. Unloading is usually done by two men with a special fork and a basket. The charcoal is removed from the kiln and heaped into a covered place in front of it. About a week later, the charcoal is ready to be transported by truck to the centers of consumption.

The present charcoal manufacturing system in brick beehive kilns, with no recovery of by-products and leaving wood residues (leaves and limbs of less than 15 mm in diameter) at the cutting site, is shown schematically in Fig. 1.

In terms of utilization of the energy potential of all the biomass available above-ground, and assuming the recovery of 50% of the fines (as steel industries do, for sinter production), this system is somewhere around 42% efficient, considering the heating value enthalpy of charcoal (as produced) and firewood (25% moisture) as 7,000 Kcal/kg and 3,000 Kca/kg, respectively.

The process as such (in a 5-meter-diameter brick kiln) presents the following technical data:

- volume of wood: 37 steres per load
- operating cycle:
  - loading - 4 hours (2 men)
  - carbonization - 96 hours
  - cooling - 96 hours
  - unloading - 5 hours (2 men)
  - Total 201 hours



### Yields

- Charcoal yield (dry base) = 29 to 33% by weight
- Fixed carbon yield (dry base) = 23 to 27% by weight
- Conversion index = 1.7 to 2.0 steres per m<sup>3</sup> of charcoal. (a stère is a stacked cubic meter of wood).

### Production

- Charcoal per batch = 18 to 22 m<sup>3</sup>
- Productivity ratio = 9.95 x 10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>/hour
- Assuming 250 KG/m<sup>3</sup> charcoal density:  
productivity ratio = 2.49 x 10<sup>2</sup> t/h.

Two men take care of 9 kilns, loading and unloading one kiln per day and producing 450 to 550 m<sup>3</sup> of charcoal per month. This productivity ratio varies with the size of the kiln: the larger the kiln, the greater the productivity.

If we take into account only the carbonization process, we have an energy efficiency of 53%. The difference between this figure and the former one (42%) is due to the fact that forest residues produced during harvesting are left in the field. These residues represent an important potential resource for energy production because they represent about 20% of total forest biomass in a plantation, as will be discussed later. In the calculations we assumed that only 50% of the fines produced during carbonization and charcoal-handling were used. This assumption was based on the constraints imposed by the use of charcoal for metallurgical purposes; for blast furnaces, charcoal's minimum size is 10 mm. For fuel oil substitution all the fines can be used, especially if care is taken not to contaminate them with dirt during truck loading, transport and handling. In this case, the process's energy efficiency will increase to 59%.

### 5.2 Charcoal Production Developments in Brazil

Over the past few years, increasing attention has been given to charcoal production technology in Brazil,

involving not only the carbonization process as such but also forestry, as previously mentioned.

The work in the field of carbonization aims basically at increasing the yield of energy from the total available biomass in the planted forest. To achieve this result, the following measures have been envisaged:

- Increase of charcoal yield obtained from carbonization in brick beehive kilns.
- Partial recovery and utilization of by-products from carbonization in brick beehive kilns.
- Development of higher technology, with higher charcoal yields and recovery of by-products.

Several studies have been done geared to better characterization of the carbonization process in brick beehive kilns. The results obtained so far point to:

- The importance of proper drying time for harvested wood.
- Increased yield through better control of air inside the kiln.
- Recovery of tar obtained from carbonization.
- Importance of proper training of operating personnel.

In addition to these measures, some Brazilian companies are currently trying to tap residues from forests harvesting for energy purposes. Basically, these are the objectives which Florestal ACESITA and other Brazilian companies have been pursuing for the past two years.

Carbonization at Florestal ACESITA is done with wood whose moisture content is below 30% (wet base). In this case, drying time takes about 90 to 120 days, depending on the season. In the rainy season Eucalyptus logs (1.3 to 2 m long) take 120 days to decrease their moisture to below 30%.

As we said before, carbonization in Brazilian brick beehive kilns is done by controlling around 56 portholes





which permit air intake, to have a partial combustion to control and normally more wood than necessary is burned the aim of decreasing the number of holes to be controlled. Florestal ACESITA is testing a carbonization chamber to be fitted to the 5-meter-diameter brick kiln, and this has yielded promising results. It consists, basically, of transferring the firewood-burning process, which normally takes place inside the kiln (normal procedure in conventional brick kilns) to a combustion chamber located under the kiln floor, thereby eliminating the air-inlet portholes and allowing the process to be controlled by means of a butterfly valve coupled to the feed door of the combustion chamber. As a result, overall carbonization can be better controlled and higher temperatures (700... to 900°C) inside the carbonization chamber can be avoided.

The kiln at the experimental battery of Florestal ACESITA has the following characteristics:

- Wood volume: 37 steres, the same as in the conventional kiln.
- Production per batch : 20-24 m<sup>3</sup> of charcoal
- Carbonization cycle : similar to that of the conventional kiln.

#### **Yields**

- Charcoal production (dry base)= 31 - 35% by weight
- Conversion index=1.65 m<sup>3</sup> of wood/m<sup>3</sup> of charcoal.

The results obtained so far show excellent prospects for the use of this carbonization process, due to the following reasons:

- Higher yields.
- Easier operation, since the new kiln eliminates the need for air-inlet portholes in its surface.
- Longer useful life of the kiln due to the absence of higher temperatures.

- Low installation costs under US\$ 400.00 (combustion chamber).
- Less dependence on external conditions (wind direction, for example).

Florestal ACESITA is already assessing the first results obtained from 50 kilns scattered over its charcoal production areas.

Not long ago, the ACESITA Group, through its subsidiary forest companies, started to develop a new process to recover the tar generated in brick beehive kilns. A new manufacturing process is now being developed by Florestal ACESITA, in which the volatile gases from carbonization are collected in the central part of the kiln and then pass through a washing tower, cyclones and filters (Fig. 2).

For Brazil's integrated steel industry, the tar obtained from carbonization is an excellent substitute for fuel oil and offers the following advantages:

- Possible to produce by the company making use of it.
- Widely available.
- Optimum fluidity for use in burners; low pre-heating temperature 40 C to 50°.
- Clean fuel, practically free of ashes and sulphur.
- Liquid fuel.
- High calorific value: 5,500 to 6,500 kcal/kg (about 60% of that of fuel oil).

The system being implemented by Florestal Acesita on the average permits tar recovery on the order of 4.0% of the dry weight of wood. This, in terms of the wood used by the company, means an average of 120 kg of tar per ton of charcoal produced.

Considering the company's monthly production of 20,000 tons of charcoal, there is a recovery potential



of 2,400 of tar month; that is, 60% of the ACESITA steel plant requirements for fuel oils was expected for 1983. Within a few years, in addition to supplying all the charcoal for the steel plant, Florestal ACESITA will also be able to produce enough tar to meet fuel requirements of the plant's heating furnaces, i. e., the equivalent to its total fuel oil consumption.

Twenty such units, with a monthly production capacity of 3.6 t each, are to be installed in the current year. The objectives of these units are:

- Production of tar for adaptation to combustion systems in replacement of petroleum derivatives.
- Development of transportation and storage systems.
- Establishment of personnel training centers aimed at developing operational techniques for charcoal-making and tar recovery.
- Development of systems of quality control and reliability aimed at commercialization.

At the same time, further developments of the system will be devised to increase the rate of tar recovery and bring down costs. In terms of utilization of the energy potential of total biomass, we have 47% using this new process. In terms of the energy yield of the process, as such, efficiency is 59%.

A marked interest in continuous carbonization processes is gradually emerging in our country. These systems, besides allowing higher yields, make it possible to recover almost all the carbonization by-products, either for the manufacture of chemicals or for use as fuel with a medium heating value.

In this particular area, Florestal ACESITA has been experimenting with a new retort for the production of 10 tons of charcoal per day. This retort, to be installed in the Rio Doce Valley, was scheduled to start operating by the end of 1983.

In Brazil, the continuous carbonization system is

40 times more costly per unit of production as the traditional brick beehive kilns. The former offers such advantages as:

- Higher yields
- Possibility of acting on carbonization to vary the physical and chemical characteristics of the charcoal.
- Clean process: practically all of the by-products are recoverable.
- Long useful life, between 20 and 30 years.

The use of these continuous systems also depends on the use of the by-products generated in order to render the process economical.

As observed earlier, the utilization of forest residues left in the field during harvesting operations represents an important potential energy resource. The following uses are being developed now in Brazil:

- Direct use in boilers for industrial heat.
- Electricity production.
- Conversion to gas with a low heating value.
- Densification for the above use, to minimize transportation costs.
- Conversion to charcoal for general uses, not for blast furnaces.
- Hydrolysis for the production of alcohol and high quality lignin coke.

The first alternative, which has been adopted by a few pulp and paper companies is a rather attractive one, mainly for those industrial units located close to forest areas, within short transportation distances.

As a source of electric power, the residues may be profitably used in rural areas lacking electricity. Al-



TABLE 5

**IMPACT OF DIFFERENT TECHNOLOGY COMBINATIONS ON  
CONVERSION EFFICIENCY - FOREST/ENERGY**

LEVEL OF TECHNOLOGY	PROCESS EFFICIENCY %	FOREST EFFICIENCY UTILIZATION	INVESTMENTS PER TON PER YEAR OF INSTALLED CHARCOAL PRODUCTION CAPACITY
A. Brick beehive kilns without by-product and forest residue recovery. Assuming utilization of 50% of the charcoal fines generated during handling and transport	53	42	US\$ 6.00 Included only brick beehive kilns with useful life of 4 years. Brick beehive kiln = US\$ 800
B. The same as A but using brick beehive kilns with a combustion chamber	57	45	US\$ 7.00 Included brick beehive kiln with combustion chamber = US\$ 1200 Useful life - 4 years
C. The same as A but using brick beehive kilns with insoluble tar recovery	59	47	US\$ 60 Included 1 piece of tar recovery equipment US\$ 17,000 per every two kilns. Useful life recovery equipment = 10 years, residual value = 50%
D. Brick beehive kilns with a combustion chamber, tar recovery and utilization of 100% of the charcoal fines generated	69	55	US\$ 62
E. The same as D plus conversion to charcoal, using small brick beehive kilns and 80% of the forest residues		66	
F. Advanced continuous carbonization retort with tar recovery only, without forest residue recovery and 100% charcoal fines use	78	62	US 280 Included only the continuous carbonization furnace with insoluble tar recovery
G. Advanced continuous carbonization retort with complete by-products recovery (acetic acid, ethanol, soluble tar) plus conversion of 80% of forest residues to charcoal and 100% charcoal fines use	78	72	US\$ 428 Included continuous carbonization furnace with tar and pyrolygneous acid recovery and distillation system to obtain acetic acid, methanol and soluble tar

though efficient and reliable technologies for small plants have been developed in various countries, no plants have as yet been built in Brazil.

Gasifier development is very active in Brazil, for utilization of wood or charcoal. This development is not explicitly directed to the use of residues although it can be done easily. Through densification (the making of briquettes from crushed wood residues), a denser and more homogeneous material can be obtained, thus rendering it more suitable for existing gasifier technology and decreasing transportation costs.

An alternative way to produce a more transportable product from residues is to convert them into charcoal. Until recently this option was not developed because the charcoal produced was not suitable for use in blast furnaces.

However, it is suitable for oil substitution. Existing kiln technology is being adapted to produce charcoal from residues. Although the trade-off between densification and charcoal has not yet been adequately analyzed, it appears that charcoal conversion technology is better adapted to the dispersed nature of this resource.

Acid hydrolysis of wood and residues is being developed in Brazil to produce ethanol and lignin coke. Current technology yields 150 liters of alcohol and 350 kg of lignin (175 klg of coke) per ton on processed residues from eucalyptus forests. For every ton of processed wood, approximately one ton is needed to generate steam for the plant: as a consequence, overall energy efficiency is low (between 20 and 25%).

### 5.3 Final Considerations

The effort to increase the energy production from a given amount of available forest biomass can have a major effect. Table 5 summarizes the impact which various changes discussed above can have upon this measure of efficiency, both singly and in combination. It is noteworthy that a combination of relatively low-cost and low-technology modifications (option E in the Table) can increase the energy output from available

biomass in the forest by almost 60%, as compared to today's standard procedure.

We have not yet taken into account the limit of economic viability of each technology, but this is currently being done. Several of the low-investment options are likely to prove feasible.

## 6. SOME FIGURES ON CHARCOAL PRODUCTION COSTS IN BRAZIL

For the sake of illustration, costs are given below for Eucalyptus-based charcoal from flat areas, with 3 x 1.5 m tree spacing, primitive vegetation (brushwood), and fertilization of 100 gr. NPK per stem.

### A. DIRECT COSTS FOR STAND ESTABLISHMENT - US\$/HA

OPERATIONS	US\$/HA
Building of roads and tracks	20.07
Site clearing	125.15
Termite control	12.47
Plowing	24.75
Harrowing	14.52
Opening of furrows	16.63
Seedling production (2223 seedlings per ha)	131.00
Planting	181.48
Irrigation	25.06
Replanting	14.56
<b>TOTAL</b>	<b>565.69</b>

NOTE: Labor cost was based on the country's minimum salary plus 20%, and an additional 43% for social benefits.

**B. TOTAL COSTS TO ESTABLISH 1.000 HA OF  
EFFECTIVE PLANTATION**

ITEM	STAND ESTABLISHMENT	MAINTENANCE 1st. YEAR	MAINTENANCE FOLLOWING YEARS	REGENERATION
1. DirectCost	565,690	30,170	13,490	34,540
2. IndirectCost	85,520	4,920	2,390	5,150
3. Overhead (0% of 1 + 2)	39,073	2,105	953	2,381
<b>4. TOTALCOST</b>	<b>690,283</b>	<b>37,195</b>	<b>16,833</b>	<b>42,071</b>

NOTE: 1000 ha of effective plantation (area actually planted in trees) has associated with it additional areas for tracks, roads, fire-breaks and preservation areas, whose costs are included in the calculations.

**C. STUMPAGE COST**

ROTATION	ITEM	PERIOD	US\$/HA/YEAR
1st	Stand Establishment	1st year	690.28
	Maintenance (1st year)	2nd year	37.20
	Maintenance (following years)	From the 3rd to the 7th year	16.83
2nd	Regeneration	8th year	42.07
	Maintenance	From the 9th to the 13th year	16.83
3rd	Regeneration	14th year	42.07
	Maintenance	From the 15th to the 20th year	16.83

Besides the investment in the forest itself, the cost of the land should also be considered. The value of US\$ 100/ha will be taken as representative of "cerrado" land located within a radius of 400 km from the major steel plants in the state of Minas Gerais; a 3% interest rate will be assumed in calculate in the return on land investment.

Considering the latest yields attained in Brazil in a 3 x 1.5 m spacing, the following harvests can be estimated:

- 1<sup>st</sup> cutting: 34st/ha/year x 7 years = 238st/ha
- 2<sup>nd</sup> cutting: 30st/ha/year x 6 years = 180st/ha
- 3<sup>rd</sup> cutting: 30st/ha/year x 6 years = 180st/ha

These are conservative figures in terms of average value of new eucalyptus plantations in Brazil. For example, the new commercial plantations of Florestal ACESITA are giving the following figures in three different regions:

- Jequitinhonha Valley % a "cerrado" (savannah) region - 40st/ha/year
- Rio Doce Valley: a more humid, hotter region - 50 st/ha/year
- State of Espiritu Santo: a very hot region near the coast, with a well distributed rainfall throughout the year - 70st/ha/year

The stumpage costs for different discount rates are as follows:

ITEM		US\$/ST	US\$/T(*)
DISCOUNT RATE	10%/year	4.54	9.08
	8%/year	3.83	7.66
	1%/year	1.98	3.96

(\*) It has been assumed that one stere weighs 500 kg at 25% moisture.

#### D. CHARCOAL-MAKING: DIRECT COSTS (US\$/m<sup>3</sup> OF CHARCOAL)

ITEM	EUCALYPTUS WOOD		NATIVE WOOD		
	FLAT AREA		ROUGH AREA		FLAT AREA
	MANUAL	SEMIME-CHANIZED	MECHANIZED	SEMIME-CHANIZED	MANUAL
• Clearing of underbrush	0.23	0.23	0.23	0.32	0.43
• Felling	2.19	2.19	1.89	3.01	2.46
• Piling	—	—	0.87	—	—
• Straight-to-the-kiln transport	2.64	2.64	—	—	1.35
• Transport to roadside	—	—	2.02	3.17	—
• Transport to kilns	—	—	1.34	1.68	—
• Charcoal manufacture	3.25	3.25	2.85	2.85	2.83

NOTE: The operation "clearing of underbrush" is done manually, ten days before cutting. The "piling" operation makes subsequent mechanical-loading operation easier. A conversion rate of 2.3 steres per m<sup>3</sup> was assumed for eucalyptus wood, and 2.7 stere per m<sup>3</sup> of charcoal for native wood.

The following table defines the charcoal production systems: manual, semi-mechanized and mechanized, for better understanding.

### D.1 DESCRIPTION OF THE CHARCOAL-MAKING SYSTEMS

TYPE OF WOOD	GROUND CONDITIONS	SYSTEMS	DESCRIPTION
EUCALYPTUS	flat area	manual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Felling of trees with axes</li> <li>• Straight-to-the-kiln transport by mules</li> <li>• Manual charcoal loading</li> </ul>
		semi-mechanized	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Felling of trees with axes</li> <li>• Straight-to-the-kiln transport by trucks</li> <li>• Manual charcoal loading</li> </ul>
		mechanized	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Felling of trees with chain-saws</li> <li>• Transport to roadside by tractor and mechanical loader</li> <li>• Transport to kiln yard by truck and mechanical loader</li> <li>• Charcoal loading with mechanical loader</li> </ul>
	rough area	semi-mechanized	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Felling of trees with chainsaw</li> <li>• Transport to roadside by mules</li> <li>• Transport to kilns by truck</li> <li>• Charcoal loading with mechanical loader</li> </ul>
NATIVE	flat area	manual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Felling of trees with axes</li> <li>• Straight-to-the-kiln transport by oxen</li> <li>• Manual charcoal loading</li> </ul>



**E. TOTAL COSTS OF CHARCOAL-MAKING**  
(US\$/m<sup>3</sup>OFCHARCOAL)

ITEM	EUCALYPTUS WOOD			NATIVE WOOD	
	MANUAL	SEMI-MECHANIZED	MECHANIZED	SEMI-MECHANIZED	MANUAL
1. Direct Cost	8.31	8.10	9.20	11.03	7.07
2. Indirect Cost	2.40	2.08	1.45	2.08	0.52
3. Overhead (6% of 1 + 2)	0.64	0.61	0.64	0.79	—
4. Financial Cost	0.76	0.84	1.19	1.32	0.49
<b>TOTAL COST</b>	<b>12.11</b>	<b>11.64</b>	<b>12.48</b>	<b>15.22</b>	<b>8.08</b>

NOTE: Financial cost includes financial charges for investments and working capital.

**F. COST OF CHARCOAL TRANSPORTATION**

In Brazil, charcoal is always expressed in terms of volume. A reduction of volume occurs when charcoal is removed from the production center to the reception center at the plant. This reduction is caused by two factors: first, there is a volume loss due to the generation of fines caused by handling operations within the battery or deposit; secondly loose charcoal "settles" during transport, to fill the empty spaces and thereby diminish the initial volume.

On the average, total volume loss, from the battery yard to the reception center may reach the following percentages:

• Loss due to handling operations	-2%
• Loss due to "charcoal settling" during transport	-5%
<b>Total loss</b>	<b>7%</b>

Charcoal storage in an intermediate deposit may cause an additional 8% volume loss.

One should note that these reductions in quantity are important only when charcoal measurement is expressed in terms of volume. Obviously, gravimetric measures would not show the same level of charcoal "loss".

Truck transportation of native-wood-based charcoal can be by independent truckers or by the charcoal-makers

themselves. Integrated steel mills generally own and maintain a fleet of trucks to transport only part of their\* required charcoal.

Freight costs for truck transportation vary according to distance, as follows:

Distance(km)	US\$/m <sup>3</sup> of Charcoal
200	2.75
400	4.80
600	6.90
800	8.96

**G. FINAL COST OF CHARCOAL-CIF PLANT**

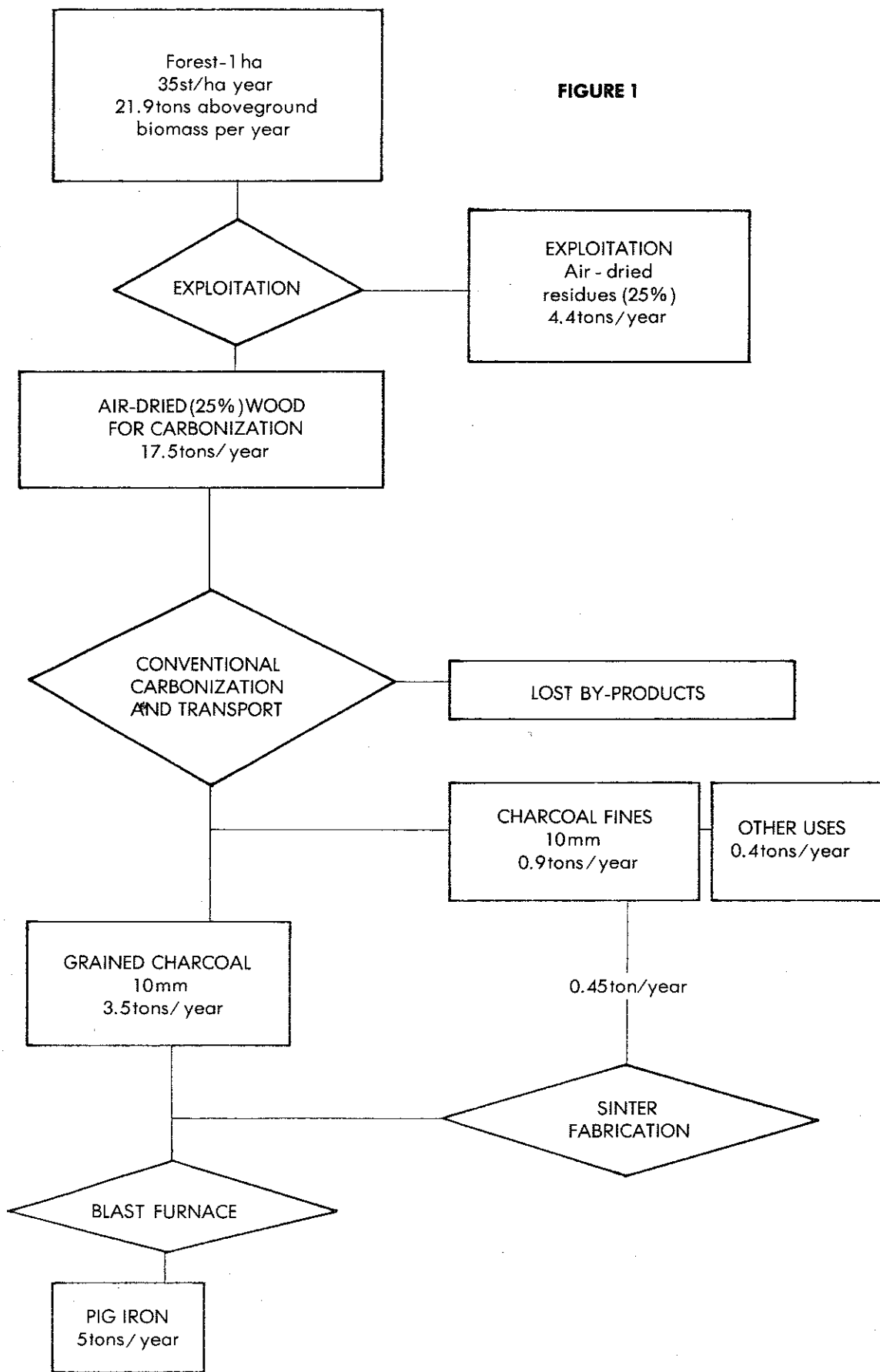
ITEM	CHARCOAL			
	EUCALYPTUS-WOOD-BASED		NATIVE-WOOD-BASED	
	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/ton	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/ton
Stumpage	8.8	35.24	1.35	5.40
Charcoal-making	12.00	48.00	8.08	32.32
Transport	6.45	25.80	7.76	31.04
<b>TOTAL</b>	<b>27.26</b>	<b>109.04</b>	<b>17.19</b>	<b>68.76</b>

The distances assumed from production centers to the plant were 400 km for eucalyptus-wood-based charcoal, and 600 km for native-wood-based charcoal.

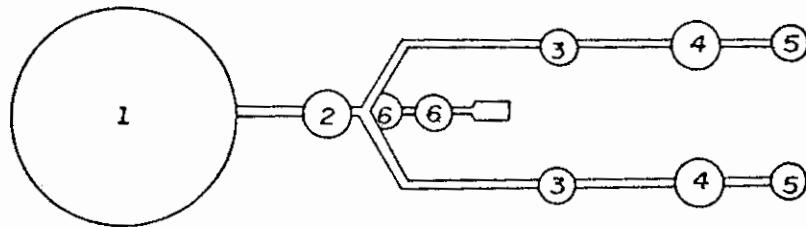
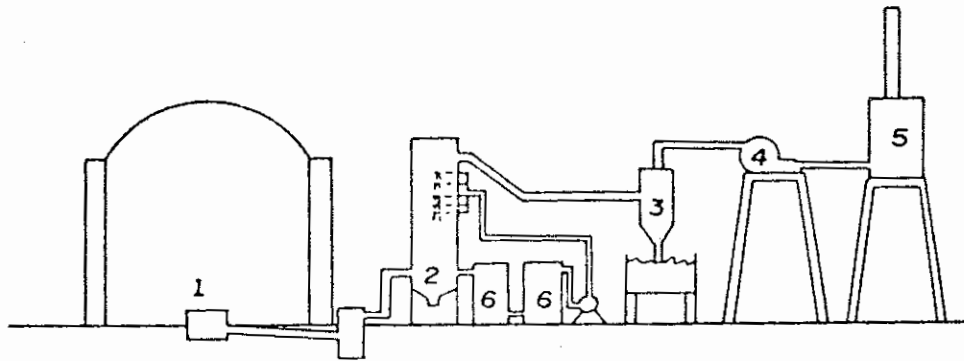
Transportation costs include freight, a volume loss of 7%, and intermediate storage costs.



FIGURE 1



**FIGURE 2**  
**EQUIPMENT FOR TAR RECOVERY FROM**  
**BRICK BEEHIVE KILNS**



- 1. KILN
- 2. WASHING TOWER
- 3. CYCLONE
- 4. EXHAUSTER
- 5. FILTER
- 6. COLLECTING DRUMS