

Joaquim Carlos GONÇALEZ*
 Newton Jordão ZERBINI**
 Gérard JANIN*

* Universidade de Brasília
 Departamento Engenharia Florestal
 CP 04357
 70919-970 Brasília
 Brésil

** Ministério do Meio Ambiente
 Diretoria de Florestas
 Esplanada dos Ministérios
 70000-000 Brasília
 Brésil

Caractérisation technologique des bois amazoniens immergés dans le barrage de Tucuruí au Brésil

Des bois amazoniens immergés pendant quatorze ans, depuis la construction d'un barrage, sont exploités grâce à des techniques innovantes. Leurs caractéristiques technologiques et mécaniques (normes Copant) sont comparables à celles données dans la littérature. Étant donné l'importance des volumes immergés, l'exploitation s'annonce économiquement rentable.



L'arbre est amarré à la barge
 et au tronc-guide de flottage.
*Mooring a tree to a barge and
 to the guide log for floating.*
 Photo J. C. Gonçalves.

RÉSUMÉ

CARACTÉRISATION TECHNOLOGIQUE DES BOIS AMAZONIENS IMMERGÉS DANS LE BARRAGE DE TUCURUÍ AU BRÉSIL

Des bois amazoniens – angelim (*Dinizia excelsa*), castanha (*Bertholletia excelsa*) et maçaranduba (*Manilkara huberi*) – sont restés submergés pendant quatorze années dans le barrage hydroélectrique de Tucuruí (État du Pará, Brésil). Ces bois, débités avec des scies hydrauliques par des plongeurs, sous 30 à 50 m d'eau, sont amenés à la scierie par flottage. Des innovations techniques ont permis l'exploitation : création de scies étanches sécurisées, repérage des arbres au sonar et arrachage avec des grues embarquées. Les rendements journaliers d'une équipe de trois personnes – un plongeur, un mécanicien et un auxiliaire – atteignent vingt billes par jour. Les propriétés mécaniques (flexion statique, compression perpendiculaire, cisaillement et dureté Janka) sont mesurées selon les normes Copant ainsi que les caractéristiques technologiques : densité, retraits tangential, radial et volumétrique. Pour les valeurs des caractéristiques mécaniques, il n'y a pas de différence significative entre celles des bois récupérés à Tucuruí et celles citées dans la littérature. Toutefois, on constate un léger assombrissement du bois de cœur et de l'aubier, qui n'est pas dommeable. Ainsi, pour les espèces amazoniennes, l'eau est le meilleur moyen de conserver les qualités technologiques d'arbres entiers ainsi que l'aspect du bois. L'exploitation industrielle et commerciale des bois immergés est économiquement rentable, étant donné la valeur des volumes déjà extraits ou à extraire.

Mots-clés : bois tropical, immersion, barrage, technologie, Amazonie.

ABSTRACT

TECHNOLOGICAL CHARACTERISATION OF AMAZONIAN TREES SUBMERGED BY THE TUCURUÍ DAM IN BRAZIL

Amazonian trees—angelim (*Dinizia excelsa*), castanha (*Bertholletia excelsa*), maçaranduba (*Manilkara huberi*)—submerged for 14 years in the waters of the Tucuruí dam in Pará State, Brazil, are being extracted by divers working 30-50 metres down with water-proof, portable hydraulic chainsaws, and floated to the sawmill. Various innovative techniques were developed during the operation, such as the waterproof chainsaws, sonar to detect the trees, and extraction techniques using a crane installed on the boat. Daily yields with a team of three people (diver, technician and assistant) are about 20 commercial logs. The technological properties of the wood, i.e. density and tangential, radial and volumetric shrinkage and its mechanical strength (static flexural bending, perpendicular compression, shear and Janka hardness), were measured for each species using Copant standards. No significant differences were found between the values for their mechanical characteristics and those quoted in the literature, apart from the slight darkening of both sapwood and heartwood, which has no incidence on their uses. Deep water is the best way of preserving whole tropical trees as well as the technological properties and appearance of the wood. The work involved in recovering the trees has proved to be both commercially and industrially viable, considering the value of the trees already used and the quantity of trees left to be exploited.

Keywords: tropical wood, immersion, dam, technology, Amazonia.

RESUMEN

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MADEIRAS AMAZÔNICAS IMERSAS NA BARRAGEM DE TUCURUÍ, BRASIL

Madeiras Amazônicas imersas, consideradas neste estudo: angelim (*Dinizia excelsa*), castanha (*Bertholletia excelsa*) e maçaranduba (*Manilkara huberi*). Essas madeiras imersas durante 14 anos na barragem hidrelétrica de Tucuruí, Estado do Pará, Brasil, estão exploradas a uma profundidade de 30 a 50 m, com mergulhadores equipados de motosserra adaptada à motor hidráulico sob pressão de óleo, ligado à superfície tendo como base um pequeno barco. Inovações foram desenvolvidas na exploração das árvores imersas (sistema Sonar). Rendimento por dia de uma equipe de três pessoas—mergulhador, operador de compressor de ar e óleo e auxiliar—é de 20 árvores, retiradas na forma de toras comerciais. Propriedades tecnológicas—densidade, retratibilidades (tangencial, radial e volumétrica) e propriedades mecânicas (flexão estática, compressão perpendicular às fibras, cisalhamento e dureza Janka)—foram determinadas segundo as normas Copant em amostras das três espécies estudadas. Comparações com dados da literatura com as mesmas espécies, mostraram que não existem diferenças quantitativas significantes. Todavia, um ligeiro sombreamento das madeiras, tanto de cerne como de alburno, para as três espécies, foi verificado, sem no entanto comprometer suas utilizações. Assim, para as espécies tropicais da Amazônia, a imersão em água é um dos melhores meios de conservar as qualidades tecnológicas. A exploração da madeira submersa são operações industrial e comercial viáveis em função da técnica e dos volumes de madeiras já explorados e a explorar.

Palavras chaves: madeira tropical, imersão, barragem, tecnologia, Amazônia.

Introduction

L'usine hydroélectrique (Uhe) de Tucuruí se situe sur le Rio Tocantins, dans l'État du Pará, au Brésil, à 300 km environ, en ligne droite, au sud de la ville de Belém (carte 1).

Le site d'implantation a été défini à partir des études issues de l'inventaire du potentiel énergétique du bassin du Tocantins et de ses principaux affluents. Le niveau d'eau formé par le lac-réservoir de retenue, d'une cote de 72 m, a inondé une surface de 2 875 km² (déterminée par images satellitaires), dont 25 %, soit environ 700 km², correspondent à la surface précédemment occupée par le Rio Tocantins et ses principaux affluents. Le périmètre externe de cette étendue d'eau est de 7 700 km et 1 660 îles se sont formées (ELETRO-NORTE, 1994). Cette surface était occupée en grande partie par la forêt tropicale humide. Étant donné l'importance de cette couverture forestière dans l'aire d'inondation des réservoirs hydroélectriques, il était devenu opportun d'analyser la question de la récupération des bois immergés.

Dans le but de modifier l'aspect visuel détestable des branches mortes des arbres apparaissant à la surface de l'eau, d'améliorer la qualité de cette dernière et d'offrir la possibilité d'un usage multiple des bassins de rétention, une exploitation des arbres en vue d'une utilisation industrielle et commerciale a été décidée. Le défrichement a été réalisé avant la formation du lac-réservoir de retenue. Ainsi, l'exploitation peut être faite avant ou après le remplissage du lac, en fonction de la viabilité économique.

La majeure partie de la région de Tucuruí était couverte par la forêt tropicale de Terra Firme, occupant plus de 20 000 km² dont 12 % furent inondés. Les surfaces inondables, ou *várzeas*, couvraient une petite surface (42 km²) et étaient localisées à proximité des affluents, rivières et espaces de sols hydromorphes. Le

relevé botanique, réalisé dans la zone d'influence de l'Uhe de Tucuruí, avant l'implantation de l'usine, a permis de dénombrer 551 espèces d'arbres de la région, réparties en 81 familles.

Parmi les plus représentatives de la forêt de Terra Firme se distinguaient les espèces suivantes : acapú, mata-mata, breus (*Protium heptaphyllum* (Aubl.) March.), inga (*Inga uruguensis* Hooker et Arnott), castanheira (*Bertholletia excelsa*), andiroba (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb.), maçaranduba (*Manilka* sp.), faveira (*Parkia* sp.), louro (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex-Steud.) et angelim (*Dinizia excelsa* Ducke).

En 1977, l'inventaire forestier réalisé par la Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM, 1977) avait conclu que 50 % du volume de bois existant dans l'aire de rétention d'eau présentait un potentiel de commercialisation proche de celui des espèces les plus connues et acceptées sur le marché intérieur et extérieur, soit un volume exploitable de l'ordre de 21,5 millions de mètres cubes (CADMAN *et al.*, 1991) ; on pensait qu'avec la création du barrage les ressources en bois submergés seraient irrémédiablement perdues. Entre-temps, en 1986, à l'initiative des instances régionales, avait été développée une technique d'exploitation des bois immergés de caractère expérimental, adaptée à la région et pionnière pour le Brésil. Cette technique, qui consiste à extraire les bois en utilisant des scies à moteur hydraulique actionnées par des plongeurs, a reçu le soutien de la société Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte do Brasil), en 1988. Le projet s'inscrit dans la ligne des « études technologiques des espèces amazoniennes » menées au Département d'ingénierie forestière de l'UnB, en liaison avec le Laboratoire de produits forestiers de l'Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama). Avec l'exposé de ces méthodes dans le cadre d'un cours de « pós graduação » (s'adressant à des ingénieurs diplômés) mis en place au sein du Département

d'ingénierie forestière, cette activité est devenue un axe de recherche dans le domaine de la technologie des produits et de la qualité du bois. Le projet de recherche dont il est question ici a pour objectif d'étudier, dans le lac-réservoir de Tucuruí, l'influence de la durée d'immersion du bois dans l'eau (quatorze ans dans le cas présent) sur les caractéristiques technologiques, aspect visuel, propriétés physiques et mécaniques, des trois espèces les plus exploitées actuellement.

Lac-réservoir de Tucuruí. État du Pará, Brésil.
Tucuruí reservoir, Pará State, Brazil.
Photo J. C. Gonçalves.



Tableau I.
Classes de commercialisation des bois de Tucuruí en 1997.

Classe	Type de commercialisation	Potentiel (m ³ /ha)
1	Exportation	17,77
2	Marché intérieur avec possibilité d'expansion	86,48
3	Marché intérieur uniquement	67,71
4	Valeur commerciale inconnue	30,43

Tableau II.
Principales espèces retirées du barrage de Tucuruí. Périodes d'avril à octobre 1990 et de janvier 1995 à février 1996.

Espèce	Volume de bois rond (m ³)	
	Avril-octobre 1990	Janvier 1995-février 1996
Castanheira (<i>Bertholletia excelsa</i>)	7 474	24 678
Sumaúma (<i>Ceiba pentandra</i>)	750	-
Virola (<i>Virola</i> sp.)	645	50
Cedrorana (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	589	281
Angelim (<i>Hymenolobium</i> sp.)	545	71
Faveira (<i>Parkia</i> sp.)	335	576
Jatobá (<i>Hymenaea</i> sp.)	315	28
Ipê (<i>Tabebuia</i> sp.)	260	24
Curupixa (<i>Micropholis venulosa</i>)		87
Cedro (<i>Cedrela</i> sp.)		76
Amapá (<i>Brosimum</i> sp.)		40
Estopeiro (<i>Cariniana</i> sp.)		26
Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i>)		25
Acapú (<i>Vouacapoua americana</i>)		15
Maçaranduba (<i>Manilkara huberi</i>)		13
Copaíba (<i>Copaifera</i> sp.)		4
Tatajuba (<i>Bagassa guianensis</i>)		3
Sucupira (<i>Bowdichia nitida</i>)		3
Cupiúba (<i>Goupia glaba</i>)		2
Cumarú (<i>Dipteryx odorata</i>)		2
Muiracatiara (<i>Astronium lecointei</i>)		2
	10 913	26 006

Exploitation forestière durant la construction du barrage de Tucuruí

En septembre 1977, la présidence de la République du Brésil approuva la création d'une commission interministérielle, avec la participation de Eletronorte, la Sudam, la Fundação Nacional do Índio (Funai), l'Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) et l'Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (Ibdf, incorporé à l'Ibama en février 1989), pour donner les directives d'exploitation des bois de la zone du lac de l'Uhe de Tucuruí, en prenant comme base les informations relevées dans l'inventaire de la Sudam. Cet inventaire établissait, pour une surface de 161 000 ha, le potentiel de récupération des bois répartis en quatre classes de commercialisation (tableau I).

Sur la base de ces données, l'inventaire estimait que plus de la moitié du volume de bois existant dans cette zone représentait un réel potentiel de commercialisation, dû au fait que les espèces entraient dans les classes 1 et 2 de commercialisation (tableau I). Devant l'étendue de la surface concernée, le volume de bois exploitable de ces deux classes se présentait comme gigantesque. Ce point justifiait la viabilité du projet d'exploitation des bois immergés.

Cependant, la société Capemi, malgré les conditions offertes par le gouvernement, ne put engager le travail d'exploitation pour des raisons diverses liées à la situation du bois sur le marché international, et aussi à la mauvaise connaissance des caractéristiques technologiques des bois.

Situation actuelle des travaux

En 1991 était rendue publique une autorisation d'exploitation de neuf zones de 5 000 à 10 000 ha chacune ; dans ces zones délimitées, sur l'eau, par des bouées de signalisation, chaque entreprise contractante devait réaliser l'exploitation fores-

tière et le nettoyage des zones inondées. Les bois non commercialisables en scierie et les branches devaient être utilisés pour fabriquer du charbon végétal (ELETRONORTE, 1991) ; pour cette matière première, une seule entreprise présenta des propositions couvrant les neuf zones, qui ne furent pas acceptées au cours de la phase d'habilitation.

En août 1994, la société Eletronorte autorisa une cession des droits pour l'extraction des bois immergés dans 31 zones du barrage, soit un total de 122 650 ha. Cinq entreprises reconnues aptes à mener à bien les travaux devaient commencer pleinement leurs activités d'ici la fin de 1995. À partir de janvier 1995, deux seulement de ces entreprises se sont mises à l'œuvre, et ont exploité 26 000 m³ jusqu'en février 1996. Les volumes exploités sont présentés par espèce dans le tableau II.

Les études technologiques des bois développées au cours de recherches en relation avec l'approvisionnement commercial pour des espèces peu connues conduisirent à un accroissement de leur part dans le marché du bois. Ainsi, des espèces comme le curupixa, l'amapá, l'esto-peiro, l'acapú, entre autres, commencèrent à représenter des volumes plus significatifs des bois exploités. D'un autre côté, l'attrait commercial de quelques espèces telles que le cedro, le mogno et le maçaranduba obligea à un plus grand effort pour leur localisation sous l'eau. La prédominance de la coupe de castanheira se justifie par la fréquence de cette espèce dans la région. Sa coupe était interdite, excepté dans le cas de Tucuruí.

La société Eletronorte fit réaliser les études de viabilité et de rentabilité de l'exploitation forestière en situation immergée, en comparaison avec une exploitation forestière traditionnelle. Il en ressortit que, en conditions d'immersion, on pouvait éviter les principaux obstacles inhérents à l'exploitation forestière conventionnelle, dont le coût est élevé, tels que les périodes de pluie, le transport du bois et l'établissement de voies d'accès en forêt. Les



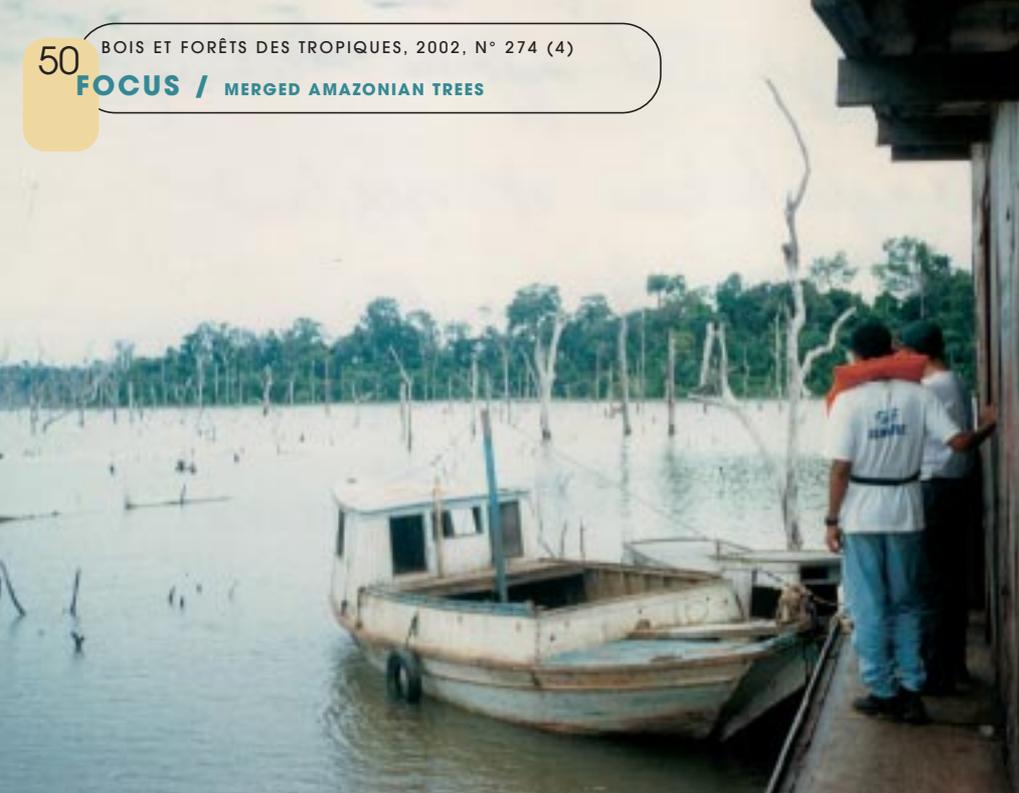
Carte 1.

Localisation de l'usine hydroélectrique de Tucuruí, au Brésil, dans l'État du Pará.
Location of the Tucuruí hydroelectric plant in Pará State, Brazil.

activités pionnières d'exploitation forestière des arbres immergés dans le lac-réservoir de Tucuruí montrèrent que les troncs retirés se conservaient, apparemment, dans de parfaites conditions physiques et mécaniques sous l'eau, rendant possible l'exploitation de tout le potentiel sur une longue période de temps. La technique d'exploitation de bois immergés fut utilisée à Tucuruí à partir d'octobre 1986, de façon expérimentale et pionnière, pour quelques usines locales. En octobre 1988, la société Eletronorte assura l'accompagnement et le soutien financier de ces travaux jusqu'en février 1990, à titre expérimental, régularisa ses activités en établissant des contrats de cessions de droits avec quatre entreprises de bois de la région. Elle attribua à chacune d'elles une superficie de 5 000 ha moyennant un accord portant sur le nettoyage et l'enlèvement des bois commerciaux existants. En contrepartie, la société Eletronorte devait recevoir 10 % de la valeur des bois commercialisés en bois ronds ou en charbon.

Barrage hydroélectrique de Tucuruí. Pará, Brésil.
The Tucuruí hydroelectric dam, Pará, Brazil.
Photo J. C. Gonçalves.





Base fixe des embarcations et des plongeurs.
Fixed base used by boats and divers.
Photo J. C. Gonçalves.

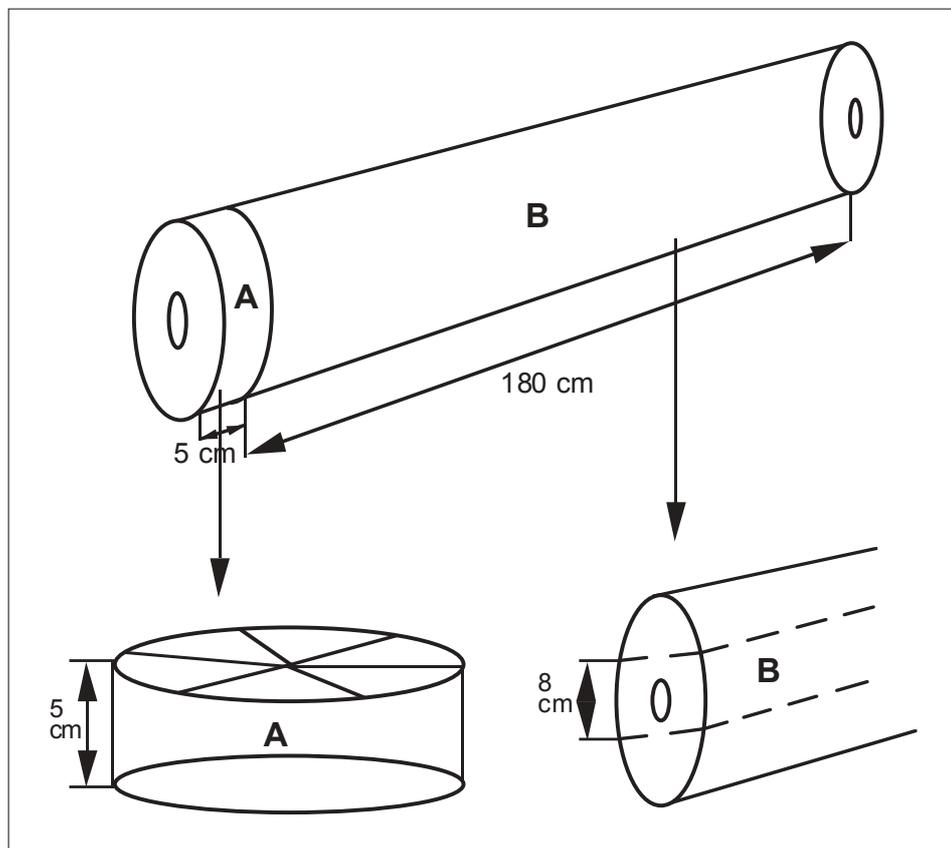


Figure 1.
Schéma du découpage des échantillons de bois.
Cutting diagram for wood samples.

Système de récupération des arbres immergés

Les techniques utilisées dans l'exploitation des bois immergés comportent un certain nombre d'étapes :

- Identification des espèces qui composent les branches émergentes, réalisée par des forestiers expérimentés et spécialistes de la région.

- Dégagement des branches émergentes apparaissant à la surface de l'eau du lac-réservoir.

- Mesure de la longueur et du diamètre du tronc qui va être exploité, réalisée par un plongeur, muni d'une chaîne d'arpenteur, jusqu'à une profondeur de presque 30 m. En surface, une personne auxiliaire se charge d'assurer la position de la pointe de la chaîne d'arpenteur et d'effectuer l'annotation de la longueur du tronc.

- Découpe du tronc. Le plongeur, muni d'une scie à moteur blindée (étanche), découpe le fût en tronçons de 5 à 8 m de longueur et de diamètre supérieur à 60 cm (destinés au sciage). Cette scie à moteur, qui a été conçue pour la découpe immergée, est actionnée par une turbine hydraulique de faible vitesse, à entraînement à huile. À l'arrivée du tuyau de l'huile de fonctionnement (sous une pression de 115 kg/cm²), près de la scie à moteur, est installée une valve de sécurité avec une tige manuelle pour que le plongeur puisse arrêter lui-même la marche du système (CADMAN *et al.*, 1991).

- Sortie du bois du lac-réservoir. Les arbres de densité supérieure à 1 kg/dm³ sont amarrés à ceux qui flottent naturellement (de densité inférieure à 1 kg/dm³) pour former ensemble des radeaux flottants tirés par des barges jusqu'au port de débarquement.

Près du poste de travail, est amarrée une embarcation (ou barge d'appui) contenant les provisions pour la nourriture et servant au rangement du matériel de travail et de cuisine ainsi que d'abri pour la nuit.

Le rendement de l'exploitation immergée varie selon la difficulté de

sélection des arbres à abattre. Dans l'exploitation de Tucuruí, on note qu'une équipe composée d'un plongeur, d'un opérateur de la pompe hydraulique de scie à moteur et du compresseur d'air pour le plongeur et d'un auxiliaire atteint un rendement de 20 arbres par jour (ELECTRONORTE, 1990).

Il convient de signaler qu'une entreprise, qui devait commencer l'exploitation, a présenté un programme de travail comportant quelques innovations : système d'exploitation utilisant un sonar pour la localisation des arbres, système de coupe avec une scie à moteur, arrachage des arbres par traction à l'aide de grues embarquées sur un bateau.

Parmi les retombées positives des techniques d'exploitation des bois immergés dans les lacs-réservoirs, on retiendra :

- le profit économique tiré des ressources forestières, aussi bien sous la forme de troncs pour les sciages que dans la production de charbon ;
- une amélioration sensible du paysage avec l'élimination des cimes des arbres immergés dépassant le niveau de l'eau ;
- une régulation de l'offre de bois, évitant l'exploitation forestière dans les îles et sur la terre ferme dans les zones d'influence de l'entreprise ;
- une plus grande facilité de gestion et la possibilité de contrôler les plantes macrophytes aquatiques ainsi que la prolifération des moustiques ;
- la promotion du développement socio-économique de la région, avec des créations d'emplois ;
- de faibles niveaux d'investissements ;
- la possibilité d'effectuer des coupes pendant les périodes pluvieuses ;
- la dispense d'ouverture de pistes de débardage et d'aires de stockage ;
- une intégration verticale des activités d'exploitation, où une entreprise exploite et commercialise elle-même les produits.

Matériel et méthodes d'étude

Trois espèces de bois ont été collectées. Il s'agit des plus exploitées (en 1998) dans le lac-réservoir de Tucuruí : castanheira (*Bertholletia excelsa*), angelim (*Dinizia excelsa*), maçaranduba (*Manilkara huberi*). Les arbres étaient immergés depuis 1984 à l'époque de cette étude. Les différentes phases de la collecte des arbres dans le lac sont illustrées par les photographies.

Échantillonnage et propriétés étudiées

Les échantillons ont été préparés à partir de trois arbres de chaque espèce choisis au hasard. Sur chacun de ces arbres ont été découpés des échantillons pour les études (figure 1).

Les échantillons ont été conditionnés dans des sacs en plastique puis transportés à Brasília. Au Laboratoire des produits forestiers, ils ont été placés dans des bacs contenant de l'eau afin de maintenir les conditions initiales, pour être ensuite préparés en vue des études technologiques.

Les tests physiques de densité et de rétractibilité, fondés sur la norme Copant, nécessitent des échantillons de 2 x 2 x 10 cm. Les échantillons qui étaient immergés dans les bacs furent retirés, pesés et mesurés (face tangentielle et radiale ainsi que longueur), permettant d'obtenir le poids saturé et les dimensions des échantillons d'épreuve à l'état saturé. Ces mêmes échantillons servirent à la détermination de l'humidité en étuve à 103 °C ± 2 jusqu'à poids anhydre constant. Ensuite, on détermina le poids anhydre et les dimensions des échantillons à l'état anhydre. En appliquant les formules recommandées par les normes Copant, un certain nombre de résultats ont été obtenus.



Le tronc qui vient d'être extrait du lac est amarré à la barge.

Mooring a trunk to a barge after raising it from the lake.

Photo J. C. Gonçalves.

Le radeau de troncs est convoyé vers la scierie.

A raft of logs on the way to the sawmill.

Photo J. C. Gonçalves.



Densité

$$Dv = Pv/Vv ; Db = Ps/Vv$$

où

Dv = densité à l'état vert

Db = densité de base

Pv = poids à l'état vert

Vv = volume à l'état vert

Ps = poids anhydre

Rétractibilité

$$Rv (\%) = Vv - Vo / Vv \times 100$$

où

Rv = rétractibilité volumétrique

Vv = volume à l'état vert

Vo = volume à l'état anhydre

$$Rt (\%) = Rtv - Rto / Rtv \times 100$$

$$Rr (\%) = Rrv - Rro / Rv \times 100$$

où

Rt = retrait tangentiel

Rr = retrait radial

Rtv = dimensions tangentielles

à l'état saturé (à l'état vert)

Rto = dimensions tangentielles

à l'état anhydre (à l'étuve 103 ± 2 °C)

Rrv = dimensions radiales

à l'état saturé (à l'état vert)

Rro = dimensions radiales

à l'état anhydre (à l'étuve 103 ± 2 °C)

Les tests mécaniques ont égale-

ment été réalisés selon les normes

Copant : flexion statique et module

d'élasticité, Copant 30 : 1-006 (1972).

Dans ce cas, les éprouvettes étaient de dimensions réduites (2 x 2 x 30 cm). Pour les autres essais mécaniques, nous avons utilisé les normes Copant 466 (1972), Copant 463 (1972) et Copant 465 (1972), respectivement pour la compression perpendiculaire à la direction des fibres, le cisaillement et la dureté Janka.

Les résultats ont été analysés et comparés, en pourcentage, avec ceux trouvés dans la littérature. Les principales utilisations dans les différents secteurs de la construction civile ou les emplois industriels ont été passés en revue.

Tableau III. Propriétés physiques des bois d'angelim, de castanheira et de maçaranduba, provenant du lac-réservoir de Tucuruí (A), comparées avec les données de la littérature (B) et leurs différences exprimées en pourcentage (C). Les résultats sont les moyennes de 25 éprouvettes par espèce.

Espèce	Densité (g/cm³)						Rétractibilité (%)								
	Base			Vert			Tangentielle			Radiale			Volumétrique		
	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**
Angelim	0,90	0,83	7,78	1,33	1,26	5,26	9,70	9,50	2,06	5,50	5,70	-3,64	15,10	15,20	-0,66
Castanheira	0,58	0,63	-8,62	1,18	1,13	4,24	9,20	9,40	-2,17	4,60	4,70	-2,17	13,40	13,20	1,49
Maçaranduba	0,94	0,93	1,06	1,20	1,26	-5,00	9,10	9,40	-3,30	6,80	6,80	0	15,80	16,00	-1,27

* B : IBDF, 1983 ; IBAMA, 1997.

** C : A (valeur des bois de Tucuruí) - B (valeur de la littérature) / A x 100.

Tableau IV. Propriétés mécaniques des bois d'angelim, de castanheira et de maçaranduba, provenant du lac-réservoir de Tucuruí (A), comparées avec les données de la littérature (B) et leurs différences exprimées en pourcentage (C). Les résultats sont les moyennes de 25 éprouvettes par espèce.

Espèce	Flexion statique (kg/cm²)						Compression perpendiculaire (kg/cm²)			Cisaillement (kg/cm²)			Dureté Janka (kg)						
	Module de rupture			Module d'élasticité (x 1 000)									Parallèle			Transversale			
	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**	A	B*	C**	
Angelim																			
Vert (saturé)	1 280	1 200	6,25	135	153	-13,3	100	103	-3	138	133	3,62	1 028	1 019	0,8	1 100	1 107	-0,64	
Sec (12 % d'humidité)	1 546	1 602	-3,62	168	173	-2,9	116	115	0,86	182	180	1,1	1 490	1 460	2	1 290	1 381	-7,05	
Castanheira																			
Vert (saturé)	779	783	-0,51	100	103	-3	62	59	4,84	80	79	1,25	590	518	12	601	528	12,1	
Sec (12 % d'humidité)	1 195	1 183	1	122	128	-4,9	113	101	10,6	115	117	-1,74	925	823	11	820	667	18,6	
Maçaranduba																			
Vert (saturé)	882	1 081	-22,5	140	126	10	130	127	2,31	127	129	-1,57	700	669	4,4	702	781	-11,2	
Sec (12 % d'humidité)	1 400	1 307	6,64	189	138	26,9	161	155	3,73	155	163	-5,16	1 080	887	18	1 181	928	21,4	

* B : IBDF, 1983 ; IBAMA, 1997.

** C : A (valeur des bois de Tucuruí) - B (valeur de la littérature) / A x 100.

Résultats et discussion

Le bois d'angelim (*Dinizia excelsa*)

Le bois d'angelim présente un cœur marron rougeâtre, peu différencié de l'aubier, lui aussi gris rougeâtre. Les cernes de croissance sont presque toujours distincts, montrant la présence de fil tord. Il possède une odeur caractéristique qui est désagréable. La texture est moyenne et le brillant est modéré.

Les tableaux III et IV présentent les propriétés physiques et mécaniques des bois étudiés. Le bois d'angelim est lourd, avec une densité de base de 0,9 g/cm³. Le retrait peut être considéré comme normal et ne devrait pas poser de gros problèmes lors du séchage. Cela peut être confirmé quand on considère le coefficient d'anisotropie (rapport entre les retraits tangentiel et radial), qui est approximativement de 1,76, indiquant que ce bois est relativement stable.

Le tableau IV montre que, d'une manière générale, le bois d'angelim possède une résistance mécanique élevée et une bonne élasticité. La dureté Janka est également élevée.

En analysant les tableaux III et IV, où sont comparées les propriétés physiques et mécaniques du bois d'angelim avec les données de la littérature, on peut vérifier que ce bois ne présente presque pas de différences pour les mêmes caractéristiques, montrant par là que la durée d'immersion n'affecte pas, d'une manière significative, ses propriétés technologiques. En outre, il sèche rapidement, présentant une faible tendance à la déformation et à un léger collapse. Le programme de séchage appliqué est modéré.

Le bois d'angelim se travaille difficilement. En ce qui concerne la finition, il prend bien la peinture, le vernis, en donnant un bon lustre. Il possède une très grande résistance aux attaques des xylophages (surtout des champignons et termites).



Zone de stockage-flottation de la scierie où arrivent les troncs en provenance du lac-réservoir.

Floating storage at the sawmill receiving logs from the reservoir.

Photo J. C. Gonçalves.

Ce bois, malgré son odeur désagréable à l'état humide, peut être recommandé pour la construction civile, poteaux, dormants entre autres types d'utilisations en menuiserie. Son emploi en construction navale ne doit pas poser de problèmes.

Le bois de castanheira (*Bertholletia excelsa*)

Le bois de castanheira présente un cœur marron clair rougeâtre et un aubier gris cendré, souvent difficilement discernable. Les accroissements annuels sont toujours distincts et réguliers. Le fil du bois est droit et de texture moyenne.

Les données du tableau III montrent que le bois de castanheira possède une densité moyenne (densité de base de 0,58 g/cm³). Les retraits se situent dans des limites considérées comme normales, malgré un coefficient d'anisotropie proche d'une valeur qui demande des précautions durant le séchage. Celles-ci doivent être prises, sachant que, lors du séchage de ce bois (IBDF, 1981), on a déjà observé qu'il présentait des défauts de fentes, courbures, vrilles ainsi qu'une cémentation (induration) superficielle.

Au vu des tableaux III et IV, on peut de nouveau affirmer que l'immersion dans le lac-réservoir ne provoque pas de modifications des pro-

priétés physiques et mécaniques chez cette espèce. De même, l'aspect visuel du bois n'est pas modifié significativement, mis à part, toutefois, un bois de cœur un peu plus rougeâtre et un aubier un peu plus gris sombre. Mais rien de tout cela ne vient compromettre son apparence d'origine et empêcher son utilisation habituelle.

Le bois de castanheira est bon pour le sciage, le dégauchissage, le déroulage, sa facilité de travail est donc intéressante. Il présente une bonne finition, en prenant bien la peinture, le vernis et les autres produits utilisés à cette fin. Sa résistance naturelle peut être considérée comme élevée, principalement contre les champignons.

Il est utilisé dans la construction lourde, navires et embarcations, pour les sols rustiques et les menuiseries de format général.

Le bois de maçaranduba (*Manilkara huberi*)

Le bois de maçaranduba, quand il est fraîchement coupé, présente un bois de cœur rouge clair, devenant marron rougeâtre au fil des jours. L'aubier est le plus souvent distinct et de couleur rosée. Les cernes d'accroissement sont presque toujours distincts et de droit fil. La texture est fine et le brillant naturel du bois est absent.



L'arbre est amarré à la barge et au tronc-guide de flottage.
Mooring a tree to a barge and to the guide log for floating.
 Photo J. C. Gonçalves.

Le tableau III montre que le bois de maçaranduba est lourd (densité de base de $0,94 \text{ g/cm}^3$). Sa densité moyenne à l'état vert est de $1,20 \text{ g/cm}^3$. Il présente le retrait volumétrique le plus élevé (15,8 %) parmi les espèces étudiées. Selon l'IBAMA (1997), on note une tendance à des défauts comme les fentes et les déformations (ondulations et courbures au cours du séchage).

Au vu du tableau IV, il apparaît que les propriétés mécaniques du maçaranduba, d'une manière générale, sont élevées, montrant ainsi ses qualités potentielles pour les constructions lourdes.

Les tableaux III et IV montrent que les propriétés technologiques du bois de maçaranduba immergé comparées (en pourcentage) à celles trouvées dans la littérature ne présentent pas de différences notables.

On observe un léger assombrissement de sa coloration qui ne compromet pas son utilisation normale.

Bien qu'il s'agisse d'un bois dur, il est facile à travailler, apte au sciage, au dégauchissage et au tranchage. Il est intéressant de noter qu'il possède une résine particulière qui parfois peut porter préjudice au fil de coupe ou au tranchant des outils.

Le bois de maçaranduba présente une résistance naturelle élevée contre les organismes xylophages, principalement contre les champignons et les termites.

Il s'agit d'un bois déjà utilisé pour la construction civile et navale, bateaux, parquets, couvertures, jusqu'à être conseillé pour la fabrication des instruments de musique.

Conclusion

En nous fondant sur les informations disponibles, nous pouvons considérer l'activité d'exploitation des bois immergés comme une initiative viable et prometteuse. La diffusion de ces actions ainsi que les améliorations du système d'exploitation des arbres et des équipements sont importantes pour sensibiliser les techniciens et les entrepreneurs du secteur forestier.

L'étude des trois espèces de bois sélectionnées, angelim (*Dinizia excelsa*), castanheira (*Bertholletia excelsa*) et maçaranduba (*Manilkara huberi*), a montré que, après quatorze années d'immersion dans le lac-réservoir, elles conservent leurs caractéristiques technologiques d'origine, ne faisant pas apparaître de modifications quantitatives sensibles de leurs propriétés physiques et mécaniques. La couleur de tous les bois immergés présente un léger assombrissement général qui n'affecte pas leur usage en menuiserie. Cela vient corroborer le fait que l'eau est l'un des meilleurs moyens pour stocker des bois, en éliminant les risques d'attaque des xylophages et les défauts qui surviennent quand les bois demeurent exposés à l'air et aux intempéries.

Il serait intéressant de poursuivre cette étude en augmentant le nombre des espèces considérées. En effet, nous avons pu observer que les industriels du bois de ces régions

rejetaient quelques espèces provenant du lac-réservoir, en alléguant que celles-ci présentaient des problèmes lors de leur utilisation, liés à certaines caractéristiques. L'identification de ces espèces, et les études à entreprendre sur elles, en tentant de montrer qu'elles sont tout à fait utilisables, contribueront à diminuer le coût d'exploitation. Ainsi, une meilleure disponibilité des autres espèces permettra de réduire la pression d'exploitation sur les espèces connues, d'abaisser les coûts de commercialisation des bois de ces régions, avec la disponibilité accrue des autres espèces, et, en plus, de mettre à la disposition des consommateurs d'autres opportunités d'utilisation du bois.

Remerciements

Nous remercions le Fonds national du « *meio ambiente* » (Fnma, Ministério do Meio Ambiente) pour son aide financière, la société Eletronorte pour son appui dans l'exploitation des espèces du barrage, l'entreprise Lamituc Comercial Ltda (Tucuruí-PA) pour le sciage des bois, enfin le laboratoire de produits forestiers de l'IBAMA (Brasília-DF) pour l'autorisation d'utiliser ses équipements de laboratoire lors des essais physiques et mécaniques.

Sélection de références

ANGELO H., GONÇALEZ J. C., ZERBINI N. J., 1994. Sistema de exploração florestal na Amazônia. Brasília, Brésil, Funatura-Itto.

CADMAN J. D., RAMALHO C. P., ZERBINI N. J., AQUINO P. A. N., 1991. Exploração da madeira submersa na Uhe Tucuruí. *In* : Simpósio sobre Barragens e Meio Ambiente, Aracaju, 11 mar. São Paulo, Brésil, p. 87-95.

ELETRORÁS, 1987. Plano nacional de energia elétrica 1987/2010. Plano 2010, relatório executivo. Rio de Janeiro, Brésil, Eletrobrás, Centrais Elétricas Brasileiras, 87 p.

ELETRORÁS, 1994. Plano nacional de energia elétrica 1993/2015. Plano 2015, relatório executivo. Rio de Janeiro, Brésil, Eletrobrás, Centrais Elétricas Brasileiras, 102 p.

ELETRONORTE, 1988. Usina Hidrelétrica Tucuruí. Memória do Empreendimento. Brasília, Brésil, Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, 700 p.

ELETRONORTE, 1989. Plano de expansão, 1990. Brasília, Brésil, Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, 402 p.

ELETRONORTE, 1990. Avaliação da exploração de madeiras submersas no reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí. Brasília, Brésil, Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, 14 p.

ELETRONORTE, 1991. Departamento de Construção, Divisão de Contratos e Administração. Áreas de desmatamento da Uhe Tucuruí. Brasília, Brésil, Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, 56 p.

ELETRONORTE, 1994. Boletim Técnico (Eeam-004/94). Brasília, Brésil, Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, 29 p.

IBAMA, 1997. Madeiras Tropicais Brasileiras. Brasília, Brésil, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 151 p.

IBDF, 1981. Madeiras da Amazônia, Características e Utilização. Brasília, Brésil, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, vol. I, 113 p.

IBDF, 1983. Potencial Madeireiro do Grande Carajás. Brasília, Brésil, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 134 p.

IBDF, sans date. Inventário florestal de Tucuruí. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, S. I., 8 vol.

INPA, 1982. Estudo da degradação do material vegetal. Relatório Semestral Jan/Jun. Manaus, Brésil, Convênio Eletronorte-Instituto de Pesquisa da Amazônia, 20 p.

PAIVA M. P., 1992. Grandes represas do Brasil. Brasília, Brésil, Editerra, 304 p.

SUDAM, 1977. Madeira derrubada para construção da Hidrelétrica de Tucuruí ; possibilidades de aproveitamento. Belém, Brésil, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia, 19 p.

WATER POWER & DAM CONSTRUCTION, 1986. Harvesting forests under reservoirs. Water Power & Dam Construction, p. 62.

ZERBINI N. J., 1991. Metodologia para estimativa de fitomassa em região de floresta tropical com uso de dados orbitais. *In* Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 5, Lima, Pérou, 28 octobre- 1^{er} novembre 1991. Anais. Cuzco, Pérou, Selper, vol. 2, p. 825-831.

ZERBINI N. J., 1992. Estimativa de fitomassa aérea verde estratificada em região de floresta tropical a partir de dados TM-Landsat 5 e HRV-Spot 1. São José dos Campos, Brésil, Inpe, 97 p.

Alimentation de la chaudière qui produit de la vapeur pour la scierie.
Fuelling the boiler to produce steam for the sawmill.
Photo J. C. Gonzalez.



Synopsis

TECHNOLOGICAL CHARACTERISATION OF AMAZONIAN TREES SUBMERGED BY THE TUCURUÍ DAM IN BRAZIL

Joaquim Carlos GONÇALEZ,
Newton Jordão ZERBINI,
Gérard JANIN

This article shows that trees submerged for a long time in water can remain in good condition and still provide suitable raw material for the wood industry. A dam located at Tucuuru  (UHE Tucuuru ) in the State of Pará, Brazil, was constructed to produce hydroelectric power in the Rio Tocantins basin, 300 km south of Belém city. A large area of 2 875 km², covering the entire basin of the Rio Tocantins and its tributaries was flooded. The area was previously covered in tropical rainforest, partly the "Varzea" and partly the "Terra Firme" forest.

Forest inventory

The forest inventory conducted before the construction of the dam showed that 551 different species (trees and grasses belonging to 81 families) were present. Among the tree species, the most representative of the "Terra Firme" forest were acap , mata-mata, breus, inga, castanheira, andiroba, maçaranduba, faveira, louro, and angelim. The conclusions of the forest inventory showed that 50% of the trees were well-known and commercially important, species, with a total of 21.5 million cubic meters sold on foreign and domestic markets. Not all the forest was logged before and during the construction of the UHE Tucuuru  dam, and many trees of high value were therefore left under the water, hence the recovery attempt.

Technical exploitation

A new technique was developed to extract the trees using boats fitted with technical equipment to cut and to carry the logs and also providing accommodation for the workers. Special equipment was designed to locate the trees under water using sonar. The trees were extracted by divers using special waterproof hydraulic chainsaws to cut the trees into logs. The logs were floated to the sawmill using the natural buoyancy of some logs to carry non buoyant logs. Both the volume of commercial wood exploited and the yield of the harvest brought in by the divers (20 poles/day) were very high, making the operation commercially profitable.

Some logs of the three main species of interest, angelim (*Dinizia excelsa*), castanheira (*Bertholletia excelsa*) and maçaranduba (*Manilkara huberi*), were chosen at random, in order to study the effects of 14 years of submersion in the water on the technological characteristics of the wood (physical and mechanical properties and the visual aspect and colour of the sawn timber). All the technical tests were performed according to COPANT rules. A comparison of the results (density, tangential, radial and volumetric shrinkage, Janka hardness, MOE and MOR for green and dry wood) with those in the relevant literature for the same species did not show any significant percentage differences. The wood colour of the sawn logs is slightly darker and redder than the original control timber, but this has no incidence on its industrial and craft uses.

Conclusions

These results confirm that submersion in water, even for as long as 14 years, is the best treatment to preserve the properties of whole tropical trees. It should be noted that the underwater harvesting operation has pioneered new techniques that can be applied at any time of the year, whether in the rainy season or not, with no need for logging roads or heavy equipment. Considering the results in terms of both commercial value and conservation of tropical trees under water, it is expected that the harvesting method using divers could be used for a long time to come in reservoirs like UHE Tucuuru  in Pará State, Brazil.