

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
18/06/2019.

SABRINA GALETTI CHERELLI

**QUANTIFICAÇÃO DO AMIDO NA MADEIRA DE SERINGUEIRA [*Hevea
brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell-Arg.]**

Botucatu

2018

SABRINA GALETTI CHERELLI

**QUANTIFICAÇÃO DO AMIDO NA MADEIRA DE SERINGUEIRA [*Hevea
brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell-Arg.]**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura.

Orientador: Adriano Wagner Ballarin

Coorientadora: Magali Leonel

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C521q Cherelli, Sabrina Galetti, 1986-
Quantificação do amido na madeira de seringueira
[*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Ahr. de Juss.) Muell-Arg.]
/ Sabrina Galetti Cherelli. - Botucatu: [s.n.], 2018
72 p.: fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Adriano Wagner Ballarin
Coorientadora: Magali Leonel
Inclui bibliografia

1. Seringueira. 2. Amido. 3. Madeira. 4. Hidrólise.
I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Leonel, Magali. III.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas.
IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

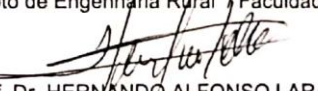
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

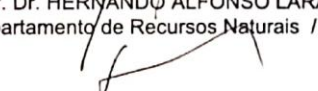
Título: "QUANTIFICAÇÃO DO AMIDO NA MADEIRA DE SERINGUEIRA (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Ait.) Muell-Arg.)"

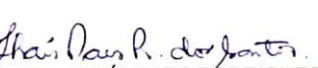
AUTORA: SABRINA GALETTI CHERELLI
ORIENTADOR: ADRIANO WAGNER BALLARIN
COORDINADORA: MAGALI LEONEL

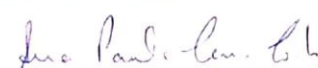
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ADRIANO WAGNER BALLARIN
Depto de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA
Departamento de Recursos Naturais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA
Depto de Ciências Florestais / ESALQ USP


Profa. Dra. THAÍS PAES RODRIGUES DOS SANTOS
CERAT - Pós-Doutoranda / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP


Profa. Dra. ANA PAULA CERINO COUTINHO
Centro de Ciências Exatas e Ciências Sociais / UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

Botucatu, 18 de dezembro de 2018.

*À minha amada avó,
Maria da Glória (em memória),
com muito amor, dedico*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin, pela orientação, ensinamentos, dedicação e exemplo de professor e pessoa.

À Prof^a. Dra. Magali Leonel pela coorientação e ensinamentos que tornaram possível o desenvolvimento desse trabalho.

À Prof^a. Dra. Carmen Regina Marcati por colocar à disposição seu laboratório e equipamentos e estar sempre disposta à conversar, trocar ideias e compartilhar seus conhecimentos.

Ao Prof. Dr. Sergio Augusto Rodrigues pela ajuda na análise estatística dos resultados.

À todo o pessoal de campo pela ajuda na coleta do material de estudo.

À APTA Regional Nordeste Paulista e APTA Regional Centro Oeste pelas árvores fornecidas para o desenvolvimento do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado concedida e pela bolsa de estudos concedida no Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior - PDSE (Processo - 88881.136044/2017-01).

À University of Sheffield, na pessoa do Dr. Chandra Bellasio, pela orientação e ensinamentos durante meu Doutorado Sanduíche em Sheffield.

Às amigas Thaís, Juliana e Liliane por toda ajuda no preparo do material, nas análises laboratoriais e principalmente pelo companheirismo, o que tornou meus dias mais divertidos e leves durante o doutorado.

Aos meus queridos pais e família por todo apoio durante esses anos.

Ao André, meu grande amor, meu companheiro de vida, por toda paciência durante os dias difíceis e por toda ajuda no desenvolvimento desse projeto.

RESUMO

O amido é o principal carboidrato de reserva das plantas, composto por dois tipos de α -glucanas, amilose e amilopectina, e tem um importante papel no metabolismo das árvores, incluindo sua importância para estudos de resposta das plantas às diferentes situações durante seu ciclo fenológico e como uma ferramenta complementar para predição do desempenho de sistemas de sangria nas seringueiras, assim como a associação de seu acúmulo com o crescimento e com a rebrota. Este constituinte é encontrado em grande quantidade na madeira de *H. brasiliensis*. Contudo, a quantificação de amido em madeira ainda é considerada problemática por diversas razões que vão desde a escolha até a implementação de um método adequado, apesar da grande quantidade de estudos encontrados na literatura. Considerando a importância deste carboidrato nas plantas e a problemática envolvida na escolha de um método de quantificação adequado para madeira, quantificou-se o teor de amido em amostras provenientes da direção radial (sentido medula – casca) em discos de *H. brasiliensis* por dois protocolos diferentes, buscando, entre as técnicas convencionais de hidrólise (ácida e enzimática), qual é a mais apropriada para esta espécie e sugerir um protocolo de quantificação de amido viável às empresas produtoras de seringueira, caso queiram utilizar a quantificação de amido num processo de controle de qualidade da espécie, e aos laboratórios de pesquisa com madeiras. Também analisou-se a distribuição radial de amido em amostras de *H. brasiliensis* coletadas em duas estações do ano e dois locais de crescimento das árvores e adicionalmente estimou-se a longevidade do alburno desta espécie por meio de análises microscópicas. Para o estudo metodológico, analisou-se cinco amostras radiais de discos de quinze árvores por dois diferentes protocolos. No protocolo 1 utilizou-se ácido para a hidrólise do amido e o método antrona para quantificação de glicose e no protocolo 2 utilizou-se enzimas para a hidrólise do amido e peroxidase-glucose oxidase (PGO) e o-dianisidina para quantificação de glicose. Para analisar a distribuição radial do amido em diferentes estações do ano e diferentes locais de crescimento das árvores, utilizou-se o protocolo 2 (hidrólise enzimática) em cinco amostras radiais de discos de oito árvores em ambos locais de crescimento e estações seca e chuvosa. Para observação da distribuição radial do amido e estimativa da longevidade do alburno desta espécie, utilizou-se análise microscópica pela observação de grânulos de amido corados com lugol e a

observação de tilos comuns para caracterização de cerne. Comparando o teor de amido entre os dois protocolos utilizados, observou-se que o teor de amido foi significativamente maior no protocolo 1. Ambos os protocolos apresentaram boa precisão, apresentando um baixo coeficiente de variação. O protocolo 1 apresentou-se mais vantajoso em termos de tempo, facilidade de execução e custo de análise, podendo ser utilizado a nível de comparação de resultados, pois se mostrou sensível o suficiente para detecção de diferenças entre as amostras radiais estudadas. A periculosidade do protocolo 1 é maior devido a instabilidade do ácido perclórico, que pode sofrer decomposição de forma explosiva, devendo ser manuseado com os equipamentos de segurança adequados. A acurácia dos valores obtidos pelos protocolos não pôde ser avaliada diretamente, uma vez que não se encontra um valor padrão exato de porcentagem de amido na madeira de seringueira em diferentes amostras radiais. Isso nos leva a sugerir às empresas produtoras de seringueira e aos laboratórios de pesquisa com madeira o protocolo 1, quando o objetivo da análise for a comparação entre resultados, e o protocolo 2, quando o objetivo for uma quantificação de amido com maior exatidão, devido à maior seletividade do amido pelas enzimas. A distribuição de amido na seringueira é decrescente desde o alburno até o cerne, apresentando maiores quantidades no alburno, com declínio no alburno mais externo sugerindo seu consumo na atividade do câmbio vascular para o crescimento radial. Encontrou-se maior teor de amido na madeira coletada no inverno e em árvores que cresceram no local com solo do tipo Latossolo. A longevidade média do alburno foi de 20 anos, mostrando que as árvores de 25 anos amostradas possuem cerne formado com grande presença de amido, contradizendo relatos encontrados na literatura sobre a depleção ou ausência de amido no processo de morte das células parenquimáticas e consequente formação de cerne. Portanto, pode-se afirmar que, para *H. brasiliensis* não deve-se utilizar a ausência de amido para caracterização de cerne.

Palavras-chave: *Hevea brasiliensis*, distribuição radial de amido, hidrólise ácida, hidrólise enzimática, longevidade do alburno.

ABSTRACT

Starch is the principal carbohydrate reserve in plants, represented by two types of α -glucans, amylose and amylopectin and has a significant role in tree metabolism including its importance for studies of plant response to different situations during its phenological cycle and as a complementary tool to predict the performance of tapping systems in rubberwood, as well as the association of its accumulation to rebudding and growth. This constituent is found in great content in the wood of *H. brasiliensis*. However, the starch analysis is still problematic despite of the large amount of studies found in the literature. Considering these key factors, the starch content was quantified in samples from the radial direction (pith – bark) of *H. brasiliensis* disks by two different protocols, seeking, among the existing conventional hydrolysis techniques (acid and enzymatic), which is the most appropriate for that species and to suggest a protocol for starch quantification that can be viable to the rubberwood producing companies in a quality control process of the species and to research laboratories that works with wood characterization. It was also analyzed the radial distribution of starch content of *H. brasiliensis* samples collected in two different seasons of the year and two different growth site and additionally, it was estimated the sapwood longevity of this species by microscopic analyzes. For the methodological study, we analyzed five radial samples from disks of fifteen trees by two different protocols. The protocol 1 used acid to hydrolyze the starch and anthrone method for glucose assay and protocol 2 used enzymes to hydrolyze the starch and peroxidase-glucose oxidase (PGO) and o-dianisidine for glucose assay. To analyze the radial distribution of starch content in different seasons and different growth sites it was used the protocol 2 (enzymatic hydrolysis) in five radial samples from disks of eight trees in both growth site in the dry season and rainy season. To observe the radial distribution and estimate the sapwood longevity of this species it was used microscopic analysis by the observation of starch grains stained with lugol and the observation of common tylosis to characterize heartwood. Comparing the starch content between the two protocols, the starch content was significantly higher in protocol 1. Both protocols showed precision, presenting a low co-efficient of variation between the measurements. Protocol 1 was more advantageous in terms of time, ease of execution and cost of analysis, and could be used in the comparison of results, since it was sensitive enough to detect differences between the radial

samples studied. The hazard of protocol 1 is higher due to instability of perchloric acid, which may be explosively decomposed and need to be handled with appropriate safety equipment. The precision of the values obtained by the protocols could not be directly evaluated, since it is not possible to find an exact standard value of starch percentage in the rubberwood different radial samples. This leads us to suggest to the companies producing rubber trees and the research laboratories with wood protocol 1, when the aim of the analysis is the comparison between results, and protocol 2, when the aim is a quantification of starch with greater precision due to the greater selectivity of starch by enzymes. The starch distribution in rubberwood is decreasing from the sapwood to heartwood, being the highest percentages found in the sapwood with a decline in the outermost sapwood suggesting its consumption by the vascular cambium activity for radial growth. The largest starch content was found in the winter samples and in the trees that grew in Latosol. The sapwood longevity was in average 20 years, showing that the 25-years-old trees sampled has heartwood with starch content, contradicting the literature about the starch depletion or absence in the process of parenchyma cells death and consequent heartwood formation. Therefore it can be assert that we should not use the absence of starch to characterize the heartwood in *H. brasiliensis*.

Keywords: *Hevea brasiliensis*, starch radial distribution, acid hydrolysis, enzymatic hydrolysis, sapwood longevity

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1 - TEOR DE AMIDO EM SERINGUEIRA: HIDRÓLISE ENZIMÁTICA OU À BASE DE ÁCIDO?	19
RESUMO.....	19
INTRODUÇÃO	21
MATERIAL E MÉTODOS	24
Material	24
Preparo das amostras	25
Quantificação do teor de amido.....	26
Análise dos resultados	30
RESULTADOS	30
DISCUSSÃO	31
CONCLUSÃO.....	34
AGRADECIMENTOS	34
REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2 - AMIDO NO CERNE E LONGEVIDADE DO ALBURNO EM <i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell-Arg.	41
RESUMO.....	41
INTRODUÇÃO	43
MATERIAL E MÉTODOS	44
Material	44
Preparo das amostras	47
Quantificação do teor de amido.....	48
Análise microscópica das amostras	49
Análise dos resultados	50
RESULTADOS	50
Quantificação do teor de amido.....	50
Análise microscópica das amostras	52
DISCUSSÃO	53

CONCLUSÃO	58
AGRADECIMENTOS.....	59
REFERÊNCIAS	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS INTRODUÇÃO GERAL	69

pela concessão dos laboratórios e à APTA Regional Nordeste Paulista e APTA Regional Centro Oeste pelas árvores fornecidas para o estudo.

REFERÊNCIAS

AOAC. Official Methods of Analysis, 14th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, 1984.

ASHWORTH EN, STIRM VE, VOLENEC JJ (1993). Seasonal-variations in soluble sugars and starch within woody stems of *Cornus-sericea* L. **Tree Physiology**, United Kingdom, v.13, p.379–388.

BALSIGER J, BAHDON J, WHITEMAN A (2000) Asia-pacific forestry sector outlook study: the utilization, processing and demand for rubberwood as a source of wood supply. **FAO**, Italy.

BAMBER RK (1987). **Sapwood and heartwood**. NSW Department of Primary Industries. Science and Research Division. Forest Resources Research. Technical Papers v. 2 1-7.

BAMBER RK; FUKAZAWA K (1985). Sapwood and heartwood: A review. **Forestry Abstracts, Nature**, United Kingdom . v. 46 p.567-580.

BATEY IL (1982). Starch analysis using thermostable alpha-amylases. **Starch/Staerke**, Germany, v.34, p.125–128.

BELLASIO C, FINI A, FERRINI F (2014). Evaluation of a high throughput starch analysis optimised for wood. **PLoS ONE**, United States, v.9, n. 2: e86645.

BERGSTRÖM B (2003) Chemical and structural changes during heartwood formation in *Pinus sylvestris*. **Forestry**, United Kingdom, v.76, p.45–53.

CAMPELO JÚNIOR JH (2000). Estimativa da transpiração em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Brazil, v.8, n.1, p. 35-42.

CEPAGRI – **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura**. Disponível em: <<https://orion.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em Ago. 2018.

CHANTUMA et al. (2009). Carbohydrate storage in wood and bark of rubber trees submitted to different level of C demand induced by latex tapping. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 29 p.1021-1031.

CHOW PS and LANDHÄUSSER SM (2004). A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues. **Tree Physiology**, United Kingdom, v.24, p.1129 –1136.

DEHON L, MACHEIX JJ, DURAND M (2002). Involvement of peroxidases in the formation of the brown coloration of heartwood in *Juglans nigra*. **Journal of Experimental Botany**, United Kingdom, v.53, p.303-311.

EADES HW (1937). Iodine as an indicator of sapwood and heartwood. **The Forestry Chronicle**, Canada. v.13, n.3, p. 470-477.

EUFRADE JÚNIOR HJ et al. (2015). Potential of rubberwood (*H. brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case of study in Brazil. **Journal of Wood Science**, Germany, v.61, p.384-390.

FAHN A; ARNON N (1962). The living wood fibres of *Tamarix aphylla* and the changes occurring in them in transition from sapwood to heartwood. **New Phytologist**, United Kingdom, v.62, n.1, p.99-104.

FISHER C; HÖLL W (1992). Food reserves of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) II. Seasonal changes and radial distribution of carbohydrate and fall reserves in pine wood. **Trees**, Germany, v.6, p.147-155.

GIOVANNELLI A et al (2011). Sampling cambial region and mature xylem for non-structural carbohydrates and starch analyses. **Dendrochronologia**, Germany, v.29, p.177–182.

GOUVÊA LRL et al. (2011). Different methods to assess yield temporal stability in rubber. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brazil, v.46, n.5, p.491-498.

HAISSIG BE, DICKSON RE (1979). Starch measurement in plant-tissue using enzymatic-hydrolysis. **Physiologia Plantarum**, United Kingdom, v.47, p.151–157.

HASHIM R, HOW LS, KUMAR RN, SULAIMAN O (2005). Some of the properties of flame retardant medium density fiberboard made from rubberwood and recycled

containers containing aluminum trihydroxide. **Bioresource Technology**, Netherlands, v. 96, p.1826–1831.

HENDRIX DL (1993). Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant-tissues. **Crop Science**, United States, v. 33, p.1306–1311.

HILLIS WE (1987). **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 268 p.

HOCH G et al (2002). Altitudinal increase of mobile carbon pools in *Pinus cembra* suggest sink limitation of growth at the Swiss treeline. **Oikos**, United Kingdom, v. 98, p.361–374.

HOCH G et al (2003). Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. **Plant, Cell and Environment**, United Kingdom, v.26, p.1067–1081.

HÖLL W (2000). Distribution, fluctuation and metabolism of food reserves in the wood of trees. In: **Cell & Molecular Biology of Wood Formation**. SAVIDGE R; BARNETT J; NAPIER R (eds.) BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford. p.347-362.

HONG LT (1995). **Rubberwood utilization: A success story**. Paper presented at XX International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) World Congress, Tampere, Finland, p. 6 – 12.

HONG LT et al (1994). Durability of rubberwood. In: Hong L. T.; Lim S. C. (Eds.). **Rubberwood processing and utilization**. Kuala Lumpur: Forest Research Institute of Malaysia, p. 37 – 50.

HUMPHREYS FR and KELLY J (1961). A method for the determination of starch in wood. **Analytica Chimica Acta**, Netherlands, v.24, p.66-70.

IAWA Committee on Nomenclature (1964). **Multilingual Glossary of Terms used in Describing Wood Anatomy**. Winterthur: Konkordia.

KADIR AA and SUDIN R (1989). Carbohydrates in rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell.). **Holzforschung**, Austria, v.43, n.3, p.173-178.

KAMPE A; MAGEL E (2013). New insights into heartwood and heartwood formation. In: **Cellular aspects of wood formation. Plant cell monographs**. FROMM J (ed.). Berlin: Springer-Verlag. p. 71–95.

KILLMAN W, HONG LT (2000). Rubberwood - the success of an agricultural by-product. **Unasyiva**, Italy, v.51, n.201, p.66-72.

LORENZI H (1992).. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Ed. Plantarium. 352p.

LUSTINEC et al. (1983). Quantitative determination of starch, amylose and amylopectin in plant tissues using glass fiber paper. **Analytical Biochemistry**, United States, v.132, p. 265-271.

MACRAE JC and ARMSTRONG D G (1978). Enzyme method for determination of linked glucose polymers in biological materials. **Journal of the Science Food and Agriculture**, United States, v.19, p.578-581.

MACRAE JC, SMITH D, MCCREADY RM (1974). Starch estimation in leaf tissue - comparison of results using 6 methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, United States, v.25, p.1465–1469.

MAGEL EA (2000) Biochemistry and physiology of heartwood formation. In: **Cell and molecular biology of wood formation**. SAVIDGE R, BARNETT J, NAPIER R (eds.), p. 363–376. BIOS Scientific Publishers, Oxford..

MAGEL EA et al (1994). Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. **Trees**, Germany. v. 8. p.165-171.

MCCREADY et al. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. **Analytical Chemistry**, United States, v.22, p. 1156-1158.

MILINGLIANG J and ZHIJUAN W (2008). Rubberwood preservation by friendly preservatives. In: **Proceedings of the ITTO/CFC International Rubberwood Workshop**. ZHAO Y (ed.), Haikou, China. p. 117-128.

NAKADA R; FUKATSU E (2012). Seasonal variation of heartwood formation in *Larix kaempferi*. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 32, n. 1, p. 1497-1508.

NELDER J; WEDDERBURN RWM (1972). Generalized Linear Models. **Journal of the Royal Statistical Society: A**, United Kingdom, v.135, p.370-384.

OKINO EYA et al (2009). Uso das madeiras de seringueira, pinus e cipreste na fabricação de chapas OSB. **Floresta**, Brazil, v.39, n.2, p.457-468.

PALLARDY, S.G (2008). **Physiology of woody plants**. 3.ed. San Diego: Elsevier/Academic. 454p.

QUENTIN et al (2015). Non-structural carbohydrates in woody plants compared among laboratories. **Tree Physiology**, United Kingdom, v.00, p.1-20.

RICKARD JE and BEHN KR (1987). Evaluation of acid and enzyme hydrolytic methods for the determination of cassava starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, United States, v.41, n.4, p.373-379.

ROBYT JF (2009). Enzymes and their action on starch. In: James B and Roy W (Eds.) **Starch** (Third Edition). San Diego: Academic Press. pp. 237–292.

ROSE R et al. (1991). Starch determination by perchloric-acid vs enzymes - evaluating the accuracy and precision of 6 colorimetric methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, United States, v.39, p.2–11.

SALLA DA et al. (2010). Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Brazil, v. 14, n. 4, p. 444 - 448.

SANTANA MAE, EIRAS KMM, PASTORE TCM (2001). Avaliação da Madeira de 4 clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, Brazil, n.70, p.61-68.

SARANPÄÄ P; HÖLL W (1989). Soluble carbohydrates of *Pinus sylvestris* L. sapwood and heartwood. **Trees**, Germany, v.3, p.138-143.

SERVOLO FILHO HJ (2013). Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*- RRIM 600 e GT 1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual. 93p. Tese (Doutorado em Ciências, Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba - SP/Brazil.

SHIGEMATSU A, MIZOUE N, KAJISA T, YOSHIDA S (2011). Importance of rubberwood in wood export of Malaysia and Thailand. **New Forests**, Netherlands, v.41, n.2, p.179-189.

SILPI et al (2007). Carbohydrate reserves as a competing sink: evidence from tapping rubber trees. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 27, p.881-889

SIVACI A (2006). Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v.109, p.234–237.

SMITH D (1969) Removing and analysing total non-structural carbohydrates from plant tissue. **Wisconsin Agricultural Experiment Station Research Report**, United States, v. 41, p.1-11.

SMITH et al. (1964). Extraction of total available carbohydrates from grass and legume tissue. **Plant Physiology**, United States, v. 39, p. 960-962

TAMOLANG FB (2008). Status of rubberwood processing and utilization in the Philippines. In: **Proceedings of the ITTO/CFC International Rubberwood Workshop**. ZHAO Y (ed.) Haikou, China. p. 83-98.

TAYLOR AM; GATNER BL; MORRELL JJ (2002). Heartwood formation and natural durability – a review. **Wood and Fiber Science**, United States. v. 34, n. 4, p. 587-611.

TEOH PY, DON MM, UJANG S (2011). Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia. **Journal of Wood Science**, Germany, v. 57, p.255–266.

TESTER FR, KARKALAS J, QI X (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, England, v.39, p.151-165.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado concedida e pela bolsa de estudos concedida no Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE (Processo – 88881.136044/2017 – 01); à *The University of Sheffield* pela concessão dos laboratórios; ao laboratório de Anatomia da Madeira – Univ. Estadual Paulista (UNESP) em nome da Professora Carmen Marcati pela assistência nas análises microscópicas e à APTA Regional Nordeste Paulista e APTA Regional Centro Oeste pelas árvores fornecidas para o estudo.

REFERÊNCIAS

BAMBER RK (1976). **Heartwood, its function and formation**. Wood Science and Technology, Germany. v.10, n.1, p. 1-8.

BAMBER RK (1987). **Sapwood and heartwood**. NSW Department of Primary Industries. Science and Research Division. Forest Resources Research. Technical Papers v. 2 1-7.

BAMBER RK; FUKAZAWA K (1985). Sapwood and heartwood: A review. **Forestry Abstracts, Nature**, United Kingdom . v. 46 p.567-580.

BARBAROUX C et al. (2003). Distribution of aboveground and below-ground carbohydrate reserves in adult trees of two contrasting broad-leaved species (*Quercus petraea* and *Fagus sylvatica*). **New Phytologist**, United Kingdom, v.157, p.605–615.

BARBAROUX C; BRÉDA N (2002). Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult-ring porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. **Tree Physiology**, United Kingdom, v.22, p.1201–1210.

BELLASIO C.; FINI A.; FERRINI F (2014). Evaluation of a high throughput starch analysis optimised for wood. **PLoS ONE**, United States, v.9, n. 2: e86645.

BERGSTRÖM B (2003) Chemical and structural changes during heartwood formation in *Pinus sylvestris*. **Forestry**, United Kingdom, v.76, p.45–53.

CARMO DN; FIGUEIREDO MS (1985). **Solos para seringueira: manejo e conservação**. Informe Agropecuário, v.11, p.13-17.

CEPAGRI – **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura**. Disponível em: <<https://orion.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em Ago. 2018.

CHANTUMA et al. (2009). Carbohydrate storage in wood and bark of rubber trees submitted to different level of C demand induced by latex tapping. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 29 p.1021-1031.

CHAPIN FS et al. (1990). The ecology and economics of storage in plants. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, United States, v.21, p.423–447.

CHATTAWAY MM (1949). The development of tyloses and secretion of gum in heartwood formation. **Australian Journal of Scientific Research**, Series B: Biological Sciences, Australia, v. 2, p. 227-240.

CHATTAWAY MM (1952). The sapwood-heartwood transition. **Australian Forestry**, United Kingdom, v.16, p. 25-34.

CUNHA TJF et al. (2000). Influência da diferenciação pedológica no desenvolvimento da seringueira no município de Oratórios, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.145-155.

DADSWELL HE; HILLIS WE (1962). Wood. In: HILLIS WE (Ed.). **Wood extractives**. Academic Press, New York and London. p. 3-55.

DE FAY E (1999). Rhythmic cambial growth and its relationships with apical rhythmic growth in *Hevea brasiliensis*, *Theobroma cacao* and *Terminalia superba* under natural cultivation conditions. Ph.D. Thesis. University of Nancy, França. 485 p.

DEHON L, MACHEIX JJ, DURAND M (2002). Involvement of peroxidases in the formation of the brown coloration of heartwood in *Juglans nigra*. **Journal of Experimental Botany**, United Kingdom, v.53, p.303-311.

DICKSON RE (1989). Carbon and nitrogen allocation in trees. **Annals of Forest Science**, Germany, v.46, p.631–647.

EADES HW (1937). Iodine as an indicator of sapwood and heartwood. **The Forestry Chronicle**, Canada. v.13, n.3, p. 470-477.

FAHN A; ARNON N (1962). The living wood fibres of *Tamarix aphylla* and the changes occurring in them in transition from sapwood to heartwood. **New Phytologist**, United Kingdom, v.62, n.1, p.99-104.

FISHER C; HÖLL W (1992). Food reserves of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) II. Seasonal changes and radial distribution of carbohydrate and fall reserves in pine wood. **Trees**, Germany, v.6, p.147-155.

GIOVANNELLI A et al. (2011). Sampling cambial region and mature xylem for non-structural carbohydrates and starch analyses. **Dendrochronologia**, Germany, v.29, p.177–182.

GLERUM C (1980). Food sinks and food reserves of trees in temperate climates. **New Zealand Journal of Forest Science**, United States, v.1, p.176–185.

GONÇALVES P et al (1997). **Melhoramento Genético da Seringueira: Uma revisão**, Documentos IAC. 55p.

GONÇALVES P et al. (1989). Biologia, citogenética e ploidia de espécies do gênero Hevea. **O Agrônômico**, v.41, p.40-64.

HARTMANN; TRUMBORE (2016). Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees – from what we can measure to what we want to know. **New Phytologist**, United Kingdom, p.1–18.

HILLIS WE (1987). **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 268 p.

HOCH G et al. (2003). Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. **Plant Cell & Environment**, United Kingdom, v.26, p.1067–1081.

HÖLL W (2000). Distribution, fluctuation and metabolism of food reserves in the wood of trees. In: **Cell & Molecular Biology of Wood Formation**. SAVIDGE R; BARNETT J; NAPIER R (eds.) BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford. p.347-362.

HONG LT (1995). **Rubberwood utilization: a success story**. Paper presented at the XX International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) World Congress, Tampere, Finland, 6-12 August 1995.

HONG LT et al (1994). Durability of rubberwood. In: Hong LT; Lim SC (eds.). **Rubberwood processing and utilization**. Kuala Lumpur: Forest Research Institute of Malaysia. p.37–50.

IAC– Instituto Agrônomo de Campinas; APTA – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. **Solos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/solosp/>. Acesso em 22 de agosto de 2018.

IAWA Committee on Nomenclature (1964). **Multilingual Glossary of Terms used in Describing Wood Anatomy**. Winterthur: Konkordia.

IBA– Indústria Brasileira de Árvores (Brazilian tree industry) (2017). **Relatório 2017**. 80p.

IPMet – **Instituto de Pesquisas Meteorológicas**. Faculdade de Ciências Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Bauru. Disponível em: <https://www.ipmet.unesp.br/>. Acesso em 22 de agosto de 2018.

JORGENSEN E (1962). Observations on the formation of protection wood. **Forestry Chronicle**, Canada, v.38, p. 292-294.

KADIR AA; SUDIN R (1989). Carbohydrates in rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell.). **Holzforschung**, Áustria, v.43, n.3, p.173-178.

KAMPE A; MAGEL E (2013). New insights into heartwood and heartwood formation. In: **Cellular aspects of wood formation. Plant cell monographs**. FROMM J (ed.). Berlin: Springer-Verlag. p. 71–95.

KILLMANN W; HONG LT. (2000). Rubberwood – the success of an agricultural by-product. **Unasylva**, Itália, v.51, n.2, p. 66–72.

KOZLOWSKI TT (1992). Carbohydrate sources and sinks in woody plants. **Botanical Review**, United States, v.58, p.107–222.

LACOINTE A et al. (1993). Mobilization of carbon reserves in young walnut trees. **Acta Botanica Gallica**, France, v.140, p.435–441.

LACOINTE A et al. (1995). Carbohydrate and protein reserves in trees. In: **Contribution to Forest Tree Physiology**. EUROSILVA (Les Colloques, No. 76).

SANDERMANN H.; BONNET-MASIMBERT M (eds.). INRA-Editions, Paris, pp 273–296.

LACOINTE A. (2000). Carbon allocation among tree organs: a review of basic processes and representation in functional structural tree models. **Annals of Forest Science**, Germany, v.58, p.521–533.

LIMA, D.U et al. (2002). Avaliação sazonal da produção de borracha e da dinâmica de carboidratos solúveis em plantas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Mull Arg.) cultivadas em Lavras, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.3, p.377-383.

MAGEL EA (2000) Biochemistry and physiology of heartwood formation. In: **Cell and molecular biology of wood formation**. SAVIDGE R, BARNETT J, NAPIER R (eds.), p. 363–376. BIOS Scientific Publishers, Oxford.

MAGEL EA et al (1994). Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. **Trees**, Germany. v. 8. p.165-171.

MCDOWELL N et al (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? **New Phytologist**, United Kingdom, v.178, p.719–739.

MCDOWELL NG (2011). Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. **Plant Physiology**, United Kingdom, v.155, p.1051–1059.

MILINGLIANG J; ZHIJUAN W (2008). Rubberwood preservation by friendly preservatives. In: **Proceedings of the ITTO/CFC International Rubberwood Workshop**. ZHAO Y (ed.), Haikou, China. p. 117-128.

MULLER B et al (2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. **Journal of Experimental Botany**, United Kingdom, v.62, p.1715–1729.

NAKADA R; FUKATSU E (2012). Seasonal variation of heartwood formation in *Larix kaempferi*. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 32, n. 1, p. 1497-1508.

NELDER J; WEDDERBURN RWM (1972). Generalized Linear Models. **Journal of the Royal Statistical Society: A**, United Kingdom, v.135, p.370-384.

PALLARDY, S.G (2008). **Physiology of woody plants**. 3.ed. San Diego: Elsevier/Academic. 454p.

RYAN MG (2011). Tree responses to drought. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 31, p.237–239.

SALA A et al (2011). Carbon storage in trees: does relative carbon supply decrease with tree size? In: **Size and age-related changes in tree structure and function**. MEINZER FC, LACHENBRUCH B, DAWSON TE (eds.), Springer, Heidelberg, p. 287–306.

SALA A et al (2012). Carbon dynamics in trees: feast or famine? **Tree Physiology**, United Kingdom, v.32, p.764–775.

SANTANA MAE; EIRAS KMM (1999). Madeira de *Hevea brasiliensis*: adequação tecnológica para a sua utilização. Brasília, DF: Laboratório de Produtos Florestais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 90 p. Não publicado.

SARANPÄÄ P; HÖLL W (1989). Soluble carbohydrates of *Pinus sylvestris* L. sapwood and heartwood. **Trees**, Germany, v.3, p.138-143.

SERVOLO FILHO, H.J (2013). Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*- RRIM 600 e GT 1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual. Tese (Doutorado em Ciências, Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 90p.

SILPI et al (2007). Carbohydrate reserves as a competing sink: evidence from tapping rubber trees. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 27, p.881-889.

SPIKER R (2005). Senescence in secondary xylem: heartwood formation as an active developmental program. In: **Vascular transport in plants**. HOLBROOK NM; ZWIENIECKI MA (eds). Elsevier Academic Press. p. 457-475.

STEWART MC (1966). Excretion and heartwood formation in living trees. **Science**, United States, v.153, p.068-1074.

TAMOLANG FB (2008). Status of rubberwood processing and utilization in the Philippines. In: **Proceedings of the ITTO/CFC International Rubberwood Workshop**. ZHAO Y (ed.) Haikou, China. p. 83-98

TAYLOR AM; GATNER BL; MORRELL JJ (2002). Heartwood formation and natural durability – a review. **Wood and Fiber Science**, United States. v. 34, n. 4, p. 587-611.

TEOH PY, DON MM, UJANG S (2011). Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): A case study in Malaysia. **Journal of Wood Science**, Germany, v.57, p. 255–266.

TRENDELENBURG R; MAYER-WEGELIN H (1955). **Das Holz als Rohstoff** (Wood as raw material), Hanser Verlag, Germany. 541 pp.

VIEIRA MR et al. (2010). Redução na produção de látex da seringueira provocada pela infestação de ácaros. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 608-613.

WARGO PM (1976). Variation of starch content among and within roots of red and white oak trees. **Forest Science**, United States, v.22, p.468–471.

WILEY E; HELLIKER B (2012). A re-evaluation of carbon storage in trees lends greater support for carbon limitation to growth. **New Phytologist**, United Kingdom, v.195, p.285–289.

WITT W; SAUTER JJ (1994). Starch metabolism in poplar wood ray cells during spring mobilization and summer deposition. **Physiologia Plantarum**, United Kingdom, v.92, p.9–16.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante esta tese foram analisados alguns aspectos relativos ao teor de amido em madeira de seringueira. A tese foi dividida em dois capítulos, sendo um de maior enfoque metodológico e outro de estrutura, função e distribuição do amido na espécie estudada.

No Capítulo 1, levando em consideração a problemática envolvida na escolha e implementação de um método apropriado para a quantificação de amido em madeira, estudamos dois protocolos com diferentes técnicas de hidrólise do amido levando em conta as características diferenciais de cada espécie, como tempo gasto nas análises, facilidade de execução, custos por amostra, periculosidade e confiabilidade dos resultados. Ambos os protocolos mostraram boa precisão dos resultados, apresentando baixo coeficiente de variação nas medições, mas o teor de amido foi significativamente maior no protocolo 1, que se apresenta mais vantajoso em termos de tempo, facilidade de execução e custo de análise, podendo ser utilizado a nível de comparação de resultados, pois se mostrou sensível o suficiente para detecção de diferenças entre as amostras radiais estudadas. Entretanto, a periculosidade do protocolo 1 é maior devido a instabilidade do ácido perclórico, que pode sofrer decomposição de forma explosiva, devendo ser manuseado com os equipamentos de segurança adequados. A acurácia dos valores obtidos pelos protocolos não pôde ser avaliada diretamente, uma vez que não se encontra um valor padrão exato de porcentagem de amido na madeira de seringueira em diferentes amostras radiais. Isso nos leva a sugerir às empresas produtoras de seringueira e à laboratórios de pesquisa com madeira o protocolo 1, quando o objetivo da análise for a comparação entre resultados, e o protocolo 2, quando o objetivo for uma quantificação de amido com maior exatidão, devido à maior seletividade do amido pelas enzimas.

No Capítulo 2 estudamos a distribuição radial do teor de amido em diferentes estações do ano e diferentes locais de plantio e, adicionalmente, estimamos a longevidade do alburno dessa espécie. O estudo da longevidade do alburno nas árvores amostradas foi de extrema importância para que pudéssemos afirmar a presença de cerne nessa espécie, a despeito do grande teor de amido encontrado na parte central das árvores. Os resultados mostram que a madeira de seringueira possui grande acúmulo de amido do alburno até o cerne, sendo as maiores

porcentagens encontradas no alburno com um declínio da porcentagem de amido no alburno mais externo (região mais próxima à casca) sugerindo seu consumo atividade do câmbio vascular para o crescimento radial. As árvores amostradas no inverno, apresentaram maior quantidade de amido, em toda direção radial, nos dois locais de plantio estudados, sendo o maior teor de amido encontrado nas árvores que cresceram em Latossolo. O estudo da longevidade do alburno nos mostrou que as árvores de 25 anos amostradas começaram a produzir cerne com aproximadamente 20 anos, e que o cerne dessa espécie apresenta amido, portanto, podemos afirmar que não devemos utilizar a ausência de grânulos de amido para caracterizar o cerne em *H. brasiliensis*.

REFERÊNCIAS INTRODUÇÃO GERAL

BALSIGER J, BAHDON J, WHITEMAN A (2000) Asia-pacific forestry sector outlook study: the utilization, processing and demand for rubberwood as a source of wood supply. **FAO**, Italy.

BAMBER RK (1987). **Sapwood and heartwood**. NSW Department of Primary Industries. Science and Research Division. Forest Resources Research. Technical Papers v. 2 1-7.

BAMBER RK; FUKAZAWA K (1985). Sapwood and heartwood: A review. **Forestry Abstracts, Nature**, United Kingdom . v. 46 p.567-580.

BELLASIO C, FINI A, FERRINI F (2014). Evaluation of a high throughput starch analysis optimised for wood. **PLoS ONE**, United States, v.9, n. 2: e86645.

BERGSTRÖM B (2003) Chemical and structural changes during heartwood formation in *Pinus sylvestris*. **Forestry**, United Kingdom, v.76, p.45–53.

BRAGA C (2015). **Indicadores econômicos da produção de borracha natural no Brasil**. CNA BRASIL. Disponível em: <http://portal-integrado.cna.hom.dotgroup.com.br/assets/arquivos/artigostecnicos/artigo-07_0.91037400%201514912077.pdf>Acesso em: Setembro 2018.

CHAPIN FS et al. (1990). The ecology and economics of storage in plants. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, United States, v.21, p.423–447.

CHOW PS and LANDHÄUSSER SM (2004). A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues. **Tree Physiology**, United Kingdom, v.24, p.1129 –1136.

DEHON L, MACHEIX JJ, DURAND M (2002). Involvement of peroxidases in the formation of the brown coloration of heartwood in *Juglans nigra*. **Journal of Experimental Botany**, United Kingdom, v.53, p.303-311.

EADES HW (1937). Iodine as an indicator of sapwood and heartwood. **The Forestry Chronicle**, Canada. v.13, n.3, p. 470-477.

EUFRADE JÚNIOR HJ et al. (2015). Potential of rubberwood (*H. brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case of study in Brazil. **Journal of Wood Science**, Germany, v.61, p.384-390.

FAHN A; ARNON N (1962). The living wood fibres of *Tamarix aphylla* and the changes occurring in them in transition from sapwood to heartwood. **New Phytologist**, United Kingdom, v.62, n.1, p.99-104.

FISHER C; HÖLL W (1992). Food reserves of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) II. Seasonal changes and radial distribution of carbohydrate and fall reserves in pine wood. **Trees**, Germany, v.6, p.147-155.

GONÇALVES PS. Uma história de sucesso. A seringueira no Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v.54, n.1, p.6-14, 2002.

HARTMANN; TRUMBORE (2016). Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees – from what we can measure to what we want to know. **New Phytologist**, United Kingdom, p.1–18.

HASHIM R, HOW LS, KUMAR RN, SULAIMAN O (2005). Some of the properties of flame retardant medium density fiberboard made from rubberwood and recycled containers containing aluminum trihydroxide. **Bioresource Technology**, Netherlands, v. 96, p.1826–1831.

HILLIS WE (1987). **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 268 p.

HOCH G et al (2003). Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. **Plant, Cell and Environment**, United Kingdom, v.26, p.1067–1081.

HÖLL W (2000). Distribution, fluctuation and metabolism of food reserves in the wood of trees. In: **Cell & Molecular Biology of Wood Formation**. SAVIDGE R; BARNETT J; NAPIER R (eds.) BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford. p.347-362.

IAWA Committee on Nomenclature (1964). **Multilingual Glossary of Terms used in Describing Wood Anatomy**. Winterthur: Konkordia.

JALANI BS, RAMLI O. **Production systems and Agronomy, Rubber**. In: Thomas B, Murphy DJ, Murray BG (eds) Encyclopedia of applied plant sciences, Three volume set. Elsevier Academic Press, London, pp 970–978. 2003.

KAMPE A; MAGEL E (2013). New insights into heartwood and heartwood formation. In: **Cellular aspects of wood formation. Plant cell monographs**. FROMM J (ed.). Berlin: Springer-Verlag. p. 71–95.

KILLMAN W, HONG LT (2000). Rubberwood - the success of an agricultural by-product. **Unasyuva**, Italy, v.51, n.201, p.66-72.

LUNZ AM. **Suscetibilidade a Scolytidae e Platypodidae (Coleoptera) e prospecção fitoquímica da madeira de quatro essências arbóreas em duas formações florestais**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004, 64p.

MAGEL EA (2000) Biochemistry and physiology of heartwood formation. In: **Cell and molecular biology of wood formation**. SAVIDGE R, BARNETT J, NAPIER R (eds.), p. 363–376. BIOS Scientific Publishers, Oxford..

MAGEL EA et al (1994). Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. **Trees**, Germany. v. 8. p.165-171.

NAKADA R; FUKATSU E (2012). Seasonal variation of heartwood formation in *Larix kaempferi*. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 32, n. 1, p. 1497-1508.

OKINO EYA et al (2009). Uso das madeiras de seringueira, pinus e cipreste na fabricação de chapas OSB. **Floresta**, Brazil, v.39, n.2, p.457-468.

OLIVEIRA MDM et al.Custos de manutenção e rentabilidade da seringueira em plena produção, região Noroeste do estado de São Paulo, 2014. Análise e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 1-5, fev. 2015. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-11-2015.pdf> . Acesso em: Outubro 2017.

PALLARDY, S.G (2008). **Physiology of woody plants**. 3.ed. San Diego: Elsevier/Academic. 454p.

QUENTIN et al (2015). Non-structural carbohydrates in woody plants compared among laboratories. **Tree Physiology**, United Kingdom, v.00, p.1-20.

ROSE R et al. (1991). Starch determination by perchloric-acid vs enzymes - evaluating the accuracy and precision of 6 colorimetric methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, United States, v.39, p.2–11.

- ROSSMANN H et al. (2006). A competitividade da borracha natural no Brasil. In: Gameiro AH (org.) Competitividade do agronegócio brasileiro. Santa Cruz do Rio Pardo, Viena. p.218–235.
- RYAN MG (2011). Tree responses to drought. **Tree Physiology**, United Kingdom, v. 31, p.237–239.
- SALLA DA et al. (2010). Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Brazil, v. 14, n. 4, p. 444 - 448.
- SANTANA MAE, EIRAS KMM, PASTORE TCM (2001). Avaliação da Madeira de 4 clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, Brazil, n.70, p.61-68.
- SARANPÄÄ P; HÖLL W (1989). Soluble carbohydrates of *Pinus sylvestris* L. sapwood and heartwood. **Trees**, Germany, v.3, p.138-143.
- SEVERO ETD et al. Changes in the chemical composition and decay resistance of thermally-modified *Hevea brasiliensis* wood. **PLoS ONE**, United States, v.11, n.3: e0151353. 2016
- TAYLOR AM; GATNER BL; MORRELL JJ (2002). Heartwood formation and natural durability – a review. **Wood and Fiber Science**, United States. v. 34, n. 4, p. 587-611.
- TEOH PY, DON MM, UJANG S (2011). Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia. **Journal of Wood Science**, Germany, v. 57, p.255–266.
- WILEY E; HELLIKER B (2012). A re-evaluation of carbon storage in trees lends greater support for carbon limitation to growth. **New Phytologist**, United Kingdom, v.195, p.285–289.