



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE DE DOUTORADO Nº 137**

**O CENOZOICO SUPERIOR DO CENTRO-OESTE DA BACIA DO  
AMAZONAS: PALEOBOTÂNICA DO EMBASAMENTO CRETÁCEO E  
EVOLUÇÃO DO RIO AMAZONAS**

**Tese apresentada por:**

**ISAAC SALÉM ALVES AZEVEDO BEZERRA**  
**Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA)**

---

**BELÉM  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B574c Bezerra, Isaac Salém Alves Azevedo Bezerra  
O CENOZOICO SUPERIOR DO CENTRO-OESTE DA BACIA DO AMAZONAS:  
PALEOBOTÂNICA DO EMBASAMENTO CRETÁCEO E EVOLUÇÃO DO RIO AMAZONAS / Isaac  
Salém Alves Azevedo Bezerra Bezerra. — 2018  
144 f. : il. color

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira Nogueira

1. Rio Amazonas. 2. Paleobotânica. 3. Geocronologia . 4. Estratigrafia Cenozoico. 5. Cretáceo. I.  
Nogueira, Afonso César Rodrigues Nogueira, *orient.* II. Título

CDD 552.509811

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**O CENOZOICO SUPERIOR DO CENTRO-OESTE DA BACIA DO  
AMAZONAS: PALEOBOTÂNICA DO EMBASAMENTO CRETÁCEO E  
EVOLUÇÃO DO RIO AMAZONAS**

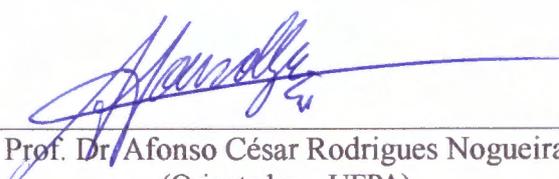
**TESE APRESENTADA POR:**

**ISAAC SALÉM ALVES AZEVEDO BEZERRA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de  
GEOLOGIA**

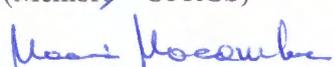
**Data de Aprovação: 08 / 11 / 2018**

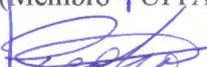
**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
(Orientador – UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr.ª Ana Maria Góes  
(Membro – USP)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Roberto Iannuzzi  
(Membro – UFRGS)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira  
(Membro – UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho  
(Membro – UFPA)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o criador dos céus e Terra.

À toda minha família, meu porto seguro. Em especial à minha esposa Ágata e filha Júlia por toda paciência e amor dedicados a mim. À minha mãe Zeneide e pai Isaac Bezerra pelos ensinamentos da Vida. Aos meus irmãos Israel e Rachel pela fiel companhia.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará pela infraestrutura e apoio financeiro.

Ao meu orientador Prof. Dr. Afonso Nogueira a quem sempre serei grato pela oportunidade de trabalhar em geologia sedimentar na Amazônia, além dos conselhos e ensinamentos durante todo o trabalho.

Ao geólogo Marcelo Motta do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-Manaus) pelo apoio logístico nos trabalhos de campo e discussões fundamentais durante todo o trabalho.

Ao Prof. Dr. Arnaldo Queiroz e geólogo Antônio Gonçalves Jr. pela valiosa e fundamental contribuição nos trabalhos em sensoriamento remoto.

Aos Prof.(s) Dr.(s) Fábio Domingos e Roberto Vizeu e também ao geólogo Giovanni Álvaro pelas discussões em geologia estrutural da Amazônia.

Aos Prof.(s) Dr.(s) André Sawakuchi, Ricardo Trindade, Francisco William – Chico Bill, Renato Paes e Vitor Sacek pela receptividade e, principalmente pelas valiosas discussões sobre a geologia da Amazônia.

Ao Prof. Dr. João Paulo S. de Cortes pelas discussões e sugestões sobre a geomorfologia da Amazônia.

À Prof. Karen Adami pelas discussões em paleobotânica, e ainda amizade e positividade durante o trabalho.

Às físicas Thays Desiree e Luciana Nogueira do Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGAL) pela amizade e paciência durante as análises de luminescência.

Aos Prof.(s) Dr.(s) José Bandeira e Joelson Soares, ao técnico e amigo Afonso Quaresma, e Msc. Pedro Augusto fieis companheiros nos trabalhos de campo na Amazônia.

Aos Prof.(s) Dr.(s) Isaac Rudnitzki e a Dr<sup>a</sup>. Kamilla Borges e ao Msc. Jhon Afonso pelo suporte, discussões e companhia durante a estadia em São Paulo.

Aos amigos sempre presentes Dr. Francisco Abrantes e Dr. Hudson Santos, e ainda companheiros do GSED: Cleber Eduardo, Walmir Lima, Luís Saturnino, Alexandre Ribeiro, Alexandre Castelo, Renato Sol e Guilherme Raffaeli pelos momentos de descontração.

A todos que colaboraram para a realização deste trabalho, Obrigado.

## RESUMO

No final do Neógeno e durante o Quaternário o desenvolvimento do Rio Amazonas promoveu expressivas mudanças paleoambientais e geomorfológicas que culminaram na paisagem atual da Amazônia. Diversos modelos têm sido elaborados em escala continental, baseados principalmente em dados obtidos de um testemunho de sondagem realizado na plataforma continental atlântica, distante cerca de 200 km da foz do Amazonas. Enquanto estes modelos sugerem o estabelecimento desta drenagem com proveniência Andina a partir do Mioceno Superior, estudos baseados em afloramentos da porção oeste e central da Amazônia têm indicado idades mais jovens para esse ecossistema, desde Plioceno ao Quaternário. O estudo sedimentológico e estratigráfico de terraços fluviais do Rio Amazonas, expostos na porção centro-oeste da Bacia do Amazonas, auxiliado por geocronologia de luminescência, permitiu sequenciar os eventos de sedimentação e as mudanças paleoambientais e paleogeográficas desde o final do Neógeno. Estes depósitos sobrepõem rochas do Cretáceo da Formação Alter do Chão, cujo estudo sedimentológico e paleobotânico revelou o registro inédito de angiospermas para a porção aflorante desta formação, em depósitos de planície de inundação e canal abandonado de rios meandrantés. A preservação de impressões e contra-impressões de lamina foliares e outros macro restos vegetais com características das famílias Moraceae, Fagaceae, Malvaceae, Sapindaceae e Anarcadiaceae com aparecimento a partir do Cretáceo Superior, e a família Euphorbiaceae com registro se iniciando no Cretáceo Médio, confirmam a idade cretácea para estas rochas. A sucessão neógena-quaternária foi subdividida informalmente em unidade inferior e superior constituídos de areia, cascalho e subordinadamente argila, organizados em ciclos granodecrescentes ascendentes de preenchimento de canal e de inundação. Estes depósitos registram que dinâmica da construção do vale do Rio Amazonas foi influenciada pela neotectônica ( $10^6$  anos) e oscilações climáticas ( $10^4$ - $10^5$  anos). A unidade inferior foi interpretada como registro do proto-Amazonas, com migração para leste e posicionada através de datação utilizando o sinal de luminescência opticamente estimulada de transferência térmica por volta de 2 Ma. Esta unidade é correlata aos depósitos do Mioceno-Plioceno da Formação Novo Remanso, da Bacia do Amazonas e registra o desenvolvimento de um sistema fluvial com planície aluvionar restrita, seguindo preferencialmente as zonas de fraqueza do embasamento paleozoico e Cretáceo. A unidade superior foi interpretada como o registro do estabelecimento do Rio Amazonas moderno e posicionada através de datação utilizando o sinal de infravermelho em feldspatos por volta de 1 Ma a 140 ka, correlata aos depósitos da Formação Içá, da Bacia do Solimões. A partir do Quaternário as oscilações

climáticas que marcam este período alterou o regime hidrológico através do aumento do volume de chuvas orográficas na região de cabeceira no flanco leste da cordilheira andina. A amplificação dos processos de erosão de escarpas na porção centro-leste da Amazônia promoveu a expansão da planície aluvionar em uma ampla área de 120 km. Nesta fase a porção leste da Bacia do Amazonas, topograficamente mais alta, restringia a sedimentação pleistocena em espaço mínimo de acomodação. A paisagem da porção centro-leste da Amazônia dominada durante o Neógeno por terra firme em áreas elevadas passou a ser regida durante o Quaternário pela dinâmica de expansão e contração da planície aluvionar. Ao final do Quaternário a várzea constituída por áreas alagadiças dentro da planície aluvionar se tornou cada vez mais restrita pelos contínuos processos de incisão fluvial durante o máximo glacial (18 a 22 ka). A migração lateral do canal meandrante levou ao confinamento da calha pelas escarpas fluviais esculpidas no embasamento cretáceo. Análise detalhada das propriedades dos protocolos utilizados na geocronologia por luminescência permitiu entender melhor as limitações e o uso deste método em estudos na Amazônia, método este em constante evolução e aperfeiçoamento. A partir destes resultados foi possível questionar dados de trabalhos anteriores obtidos a partir do uso desta importante ferramenta e indicar que algumas destas idades podem ser idades mínimas ao invés de idades de soterramento para depósitos pré-quaternários. A identificação da dinâmica mais antiga da drenagem foi inserida na interpretação dos estágios do proto-Amazonas até a passagem para a fase do Rio Amazonas moderno, que culminou na paisagem atual no centro-leste da Amazônia.

**Palavras-chave:** Amazônia. Terraços fluviais. Rio Amazonas. Paleobotânica. Cretáceo. Geocronologia. Plio-Pleistoceno. Quaternário.

## ABSTRACT

At the end of the Neogene and during the Quaternary, the development of the Amazon River caused significant paleoenvironmental and geomorphological changes that generated current landscape at Amazonia. Previous models elaborated on a continental scale were based on data obtained from a drill core carried out on the Atlantic continental shelf, distant 200 km of the Amazon River mouth, suggesting the establishment of this drainage with Andean provenance from the Middle to Upper Miocene. In contrast, studies based on outcrops in the western and central portions of the Amazon have indicated younger ages for this ecosystem, from Pliocene to Quaternary. The sedimentological-stratigraphic study of the fluvial terraces of the Amazon River, exposed in the center-west portion of the Amazon Basin, assisted by luminescence geochronology, allowed to sequence the sedimentation events and discuss the paleoenvironmental and paleogeographic since Late Neogene. The studied Neogene-Quaternary deposits overlies Cretaceous rocks whose sedimentological and paleobotanical study revealed the preservation of impressions and counter-impressions of leaves and other macro-plant remains in pelites interpreted as flood plain and abandoned channel deposits of meandering rivers. The first record of angiosperms in this unit with possible affinities to the families Moraceae, Fagaceae, Malvaceae, Sapindaceae and Anacardiaceae with appearance from Late Cretaceous, and the family Euphorbiaceae with record starting in the Mid-Cretaceous confirm the Cretaceous age for these rocks. The terraces of the Amazon River informally subdivided into lower and upper units are composed of sand, gravel and clay, organized in finning upward cycles representative of channel filling and overbank deposits. The lower unit was interpreted as a record of the proto-Amazonas, with migration to the east and deposition around 2 Ma. During this stage, the alluvial plain was restricted, preferentially following weakness zones coincident with fractures in the Paleozoic and Cretaceous basement. The climatic oscillations during the Quaternary and the increase of the volume of orographic rains in the headwaters region of the fluvial systems, in the eastern flank of the Andean ridge modified the hydrological regime, amplifying the escarpment erosion. The gradual expansion of the alluvial plain formed a large area of 120 km around 1 Ma to 140 ka, recorded by the upper unit deposits. At this stage, the eastern portion of the Amazon Basin topographically higher restricted the Pleistocene sedimentation in minimum accommodation space. The lower unit deposits are correlate in part to the Miocene-Pliocene deposits of the Amazon Basin, while the upper units are correlate with the Pleistocene deposits of the Solimões and Amazon basins. The dynamics of the construction of the Amazon River valley during the end of the Neogene and Quaternary was influenced by neotectonics ( $10^6$  yr) and

climatic oscillations ( $10^4$ - $10^5$  yr). The landscape of the central-eastern portion of the Amazon dominated no Pleistocene by *terra firme* in elevated areas was governed by the dynamics of expansion and contraction of the alluvial plain. At the end of the Quaternary, the *várzea* formed by floodplains within the alluvial plain, which used to occupy a wide area, became increasingly restricted by the continuous processes of fluvial incision during the glacial maximum (18 to 22 ka). The continuous lateral migration of the meandering channel to the north led to the confinement of the channel by the fluvial scarps developed in the Cretaceous basement, which culminated in the current landscape in the Center-East of the Amazon. Testing the reliability and accuracy of some Pleistocene and older OSL ages for Amazon River deposits revealed that are much more minimum ages than buried ages for pre-Quaternary deposits.

**Key words:** Amazonia. Fluvial terraces. Amazon River. Paleobotany. Cretaceous. Geochronology. Plio-Pleistocene. Quaternary.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

## PARECER

### Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de ISAAC SALÉM ALVES AZEVEDO BEZERRA

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **ISAAC SALÉM ALVES AZEVEDO BEZERRA** orientando do Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA), composta pelos professores doutores Ana Maria Góes (USP), Roberto Iannuzzi (UFRGS), Pedro Walfir Martins e Souza Filho (UFPA) e Moacir José Buenano Macambira (UFPA) após apresentação da sua tese intitulada “**O CENOZOICO SUPERIOR DO CENTRO-OESTE DA BACIA DO AMAZONAS: PALEOBOTÂNICA DO EMBASAMENTO CRETÁCEO E EVOLUÇÃO DO RIO AMAZONAS**”, emite o seguinte parecer:

O candidato realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada e segura no tempo estipulado. Na arguição mostrou domínio da temática abordada e respondeu às perguntas formuladas pela banca. O trabalho escrito foi apresentado na forma de agregação de artigos científicos e atende as exigências básicas para uma tese de doutorado.

A tese apresenta dados inéditos sobre a paleobotânica da Formação Alter do Chão, que abrem perspectivas para estudos futuros promissores nesta área. Apresenta também relevante contribuição para o entendimento da evolução geológica do Rio Amazonas durante o Cenozoico.

Finalmente, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado de Isaac Salém Alves Azevedo Bezerra.

Belém, 08 de novembro de 2018.

Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (Orientador – UFPA)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Góes (USP)

Prof. Dr. Roberto Iannuzzi (UFRGS)

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho (UFPA)

Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira (UFPA)