

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AValiação do potencial gerador e paleoambiental da matéria orgânica sedimentar em amostra de calha: POÇO 2-ANP-5-MA, FORMAÇÃO CODÓ, BACIA DE SÃO LUÍS-GRAJAÚ

AUTORES:

Lucas Mateus Silva de Andrade Lima¹ Enelise Katia Piovesan² Juan David Vallejo Ramírez³

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Pernambuco

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERADOR E PALEOAMBIENTAL DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR EM AMOSTRA DE CALHA: POÇO 2-ANP-5-MA, FORMAÇÃO CODÓ, BACIA DE SÃO LUÍS-GRAJAÚ

Resumo

A Formação Codó possui 170.000 km² de extensão e é parte da Supersequência Cretácea da Bacia São Luís-Grajaú, localizada no noroeste do Brasil. Esta formação é composta por folhelhos, siltitos, calcários, arenitos e níveis de anidrita. A influência marinha na Formação Codó ainda é objeto de discussões, tanto em relação à sua extensão geográfica, quanto ao intervalo temporal. Estudos palinológicos prévios neste poço demonstraram a presença de cistos de dinoflagelados (*Subtilisphaera*) e algas de água doce (*Scenedesmus*, *Pediastrum* e *Botryococcus*). Este trabalho teve como objetivo a classificação da matéria orgânica sedimentar presente em amostras de calha coletadas do poço 2-ANP-5-MA, que possui extensão de 90 m (2469–2559 m), visando determinar o potencial na geração de hidrocarbonetos, seu nível de maturação e precisão na reconstrução paleoambiental. Foram confeccionadas 26 lâminas no intervalo de 2469–2559 m, seguindo a metodologia usual para preparação palinológica. Através das análises de distribuição de grupos e subgrupos da MOA, aplicação do *APP-diagram* e análises Euclidianas, foram determinadas quatro palinofácies para este intervalo, os principais tipos de querogênios gerados e o possível paleoambiente da formação, marcada pela ausência de presença marinha e chegada de material terrígeno em um depósito lacustre, de maneira sazonal. Esses resultados demonstram a importância e validação das amostras de calha como potenciais para determinação de rochas geradoras e na reconstrução de paleoambientes, levando em conta que as amostras de calha são as mais utilizadas pela indústria do petróleo.

Palavras-chave: Codó, Palinofácies, Palinologia, Petróleo, Querogênio

Abstract

The Codó Formation has 170.000 km² of extension and represents part of the Cretaceous Supersequence of the São Luís-Grajaú Basin, located in the northwestern part of Brazil. This formation is composed of shales, siltstones, limestones, sandstones and some anhydrite levels. The marine influence in the Codó Formation is still being discussed, either about its geographic extension and time interval. Previous palynological studies in this well have shown the presence of dinoflagellate cyst (*Subtilisphaera*) and fresh-water algae (*Scenedesmus*, *Pediastrum* e *Botryococcus*). This research has the objective of the classification of the sedimentary organic matter in drill cuttings on the 2-ANP-5-MA well, that has 90 m of depth (2469–2559 m), aiming to defining its potential in the hydrocarbon generation, the maturation level and the accuracy on the paleoenvironmental reconstruction. Twenty-six palynological slides were prepared on the 2469–2559 m interval, according to the usual methodology of preparation. Through the distribution analysis of the main groups and subgroups of the AOM, application of the APP- diagram and Euclidean analyses, four palynofacies were defined in this interval as the principal kerogen type generated and the paleoenvironment during its deposition, characterized by a non-marine deposit, in a lacustrine settings closer to a fluvio-deltaic source. These results contribute to the relevance of the use of drill cuttings samples in the analysis of

source rocks generation and the paleoenvironment reconstruction, considering that drill cuttings are the most common in the petroleum industry.

Keywords: Codó, palynofacies, palynology, petroleum, kerogen

Introdução

A Bacia de São Luís-Grajaú está localizada entre a porção norte e nordeste do Brasil, fazendo parte do mesmo contexto geológico das bacias de interiores do Nordeste do Brasil. A Formação Codó é parte da Supersequência Cretáceas da bacia, composta por depósitos mistos, folhelhos beges e pretos, siltitos, calcário, anidrita e camadas de sílex (Paz, 2005; Vaz et al., 2007) e intervalos siliciclásticos que compreendem camadas de arenitos intercaladas por folhelhos e siltitos (Rossetti et al., 2004). A Formação Codó ainda gera discussões sobre seu sistema deposicional durante o intervalo Aptiano-Albiano, se teria influência marinha ou se trataria de um ambiente lacustre com salinidade alta (Rodrigues, 1995; Paz e Rossetti, 2001; Antonioli e Arai, 2002; Rossetti et al., 2004; Paz e Rossetti, 2006; Bahniuk et al., 2014; Sousa et al., 2019). Estudos prévios apontam o aparecimento de dinocistos (*Subtilisphaera*) e de algas de água doce (*Scenedesmus*, *Pediastrum* e *Botryococcus*), segundo González et al. (2010).

As análises de palinofácies permitem inferir sobre as condições deposicionais da Matéria Orgânica Sedimentar (MOS), no que diz respeito às condições proximais-distais, oxirredutoras e sua origem, além de classificar o tipo de querogênio gerado e seu nível de maturação. Este trabalho tem como objetivo a caracterização da MOS, de amostras de calha da Formação Codó, no poço 2-ANP-5-MA, para a avaliação da utilização desse material amostral para obtenção de dados sobre as características do querogênio gerado e para reconstrução paleoambiental do intervalo em estudo.

Metodologia

Para classificação da matéria orgânica sedimentar foram utilizadas as amostras de calha do poço 2-ANP-5-MA, provenientes da Formação Codó. Neste poço, a formação possui extensão de 90 m (2469–2559 m). Foram confeccionadas 26 lâminas, seguindo a metodologia usual de preparação palinológica (Tyson, 1995; Mendonça Filho et al., 2011), diferindo apenas pela lavagem das amostras com desengordurante, para remoção dos resíduos químicos da perfuração e secagem, antes de realizar as etapas de acidólise. A amostragem de calha abrange o intervalo de 2511–2493 m, com um espaço amostral sem calhas, referente ao intervalo de 2511–2490. Para análises relacionadas à reconstrução paleoambiental e de potencial gerador, foi utilizada a técnica de Microscopia de Luz Branca e para avaliação do nível de maturação e fluorescência. Foram feitas contagens de 300 espécimes em cada uma das amostras, separando os principais grupos do querogênio (Matéria Orgânica Amorfa, Terrígenos e Palinomorfos) e os subgrupos. O processamento estatístico dos dados foi feito utilizando o programa *Past*, no qual foram gerados os gráficos, como o dendrograma (figura 1) e o diagrama ternário (figura 2). O diagrama de distribuição dos grupos (figura 3), foi elaborado através do site RiojaPlot e edição no CorelDraw. As técnicas de agrupamento possibilitam a correlação entre os três principais grupos da matéria orgânica sedimentar (MOA, Fitoclastos e Palinomorfos) permitindo o agrupamento espacial das amostras em assembleias ou associações, separando-as, dessa forma, pelas condições deposicionais.

Resultados e Discussão

Através das análises de Cluster foram identificadas quatro grupos de matéria orgânica sedimentar no poço analisado (Figura 1): o Grupo I, composto por quantidades similares de MOA e

Fitoclastos (Opacos e Não-Opacos); o Grupo II, caracterizado pela presença moderada de MOA, com Fitoclastos Não-Bioestruturados e Palinomorfos (Pólen e Esporos); o Grupo III, composto por quantidades elevadas de MOA e moderada presença de Pseudomorfos e o Grupo IV, formado predominantemente por Matéria Orgânica Amorfa (MOA).

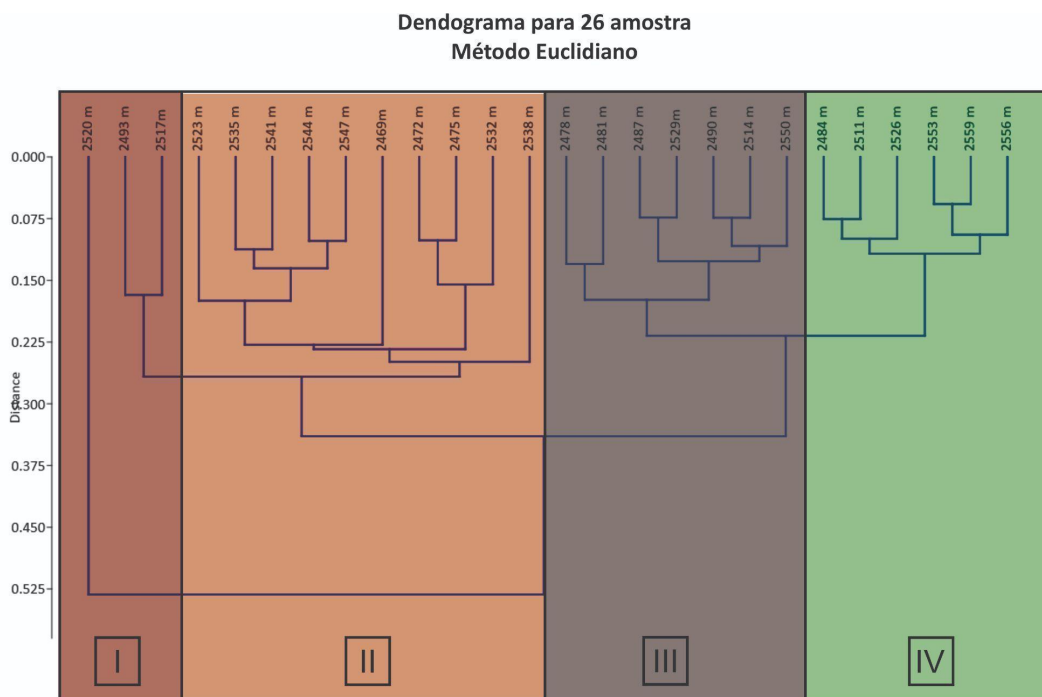


Figura 1. Dendograma para as 26 amostras, da Formação Codó, no poço 2-ANP-5-MA, utilizando o método Euclidiano para agrupamento. Observam-se 4 campos principais de semelhança entre as amostras, a esquerda a barra indica a distância estatística entre elas.

A caracterização paleoambiental e tipo de querogênio do material analisado podem ser observadas na Figura 2, que demonstra os Campos e Ambientes de Palinofácies, de acordo com o modelo proposto por Tyson (1995), foram identificadas quatro associações principais, duas nas regiões vermelhas, Campo IX e VI, onde estão maior parte das amostras e apresentam características redutoras; os outros Campos (VII e VIII) região em verde, apresentam o *input* de material continental no ambiente. O Campo VI (Plataforma proximal suboxica-anóxica) é caracterizado pela boa preservação da MOA, devido às condições redutoras, com quantidade de fitoclastos moderada, o que aponta para proximidade da área fonte, sendo esse ambiente propenso à formação de óleo, com querogênio tipo II; O Campo IX (Plataforma distal suboxica-anóxica, Plataforma Carbonática ou Ambiente estritamente marinho ou Lacustre) apresenta dominância MOA e pouca abundância de palinomorfos. Estes dados indicam depósitos marinhos estratificados ou bacias profundas, que propiciam principalmente a geração de querogênio tipo II, propenso a óleo. Os últimos ambientes são transições entre os Campos VII e VIII, (Plataforma distal disoxica-anóxica/disoxia-óxica) e possuem preservação moderada a muito boa da MOA, com poucos palinomorfos, caracterizando depósitos de folhelhos ricos em matéria orgânica e argilitos betuminosos, que geram querogênio tipo II e são propensas à formação de óleo.

Diagrama APP

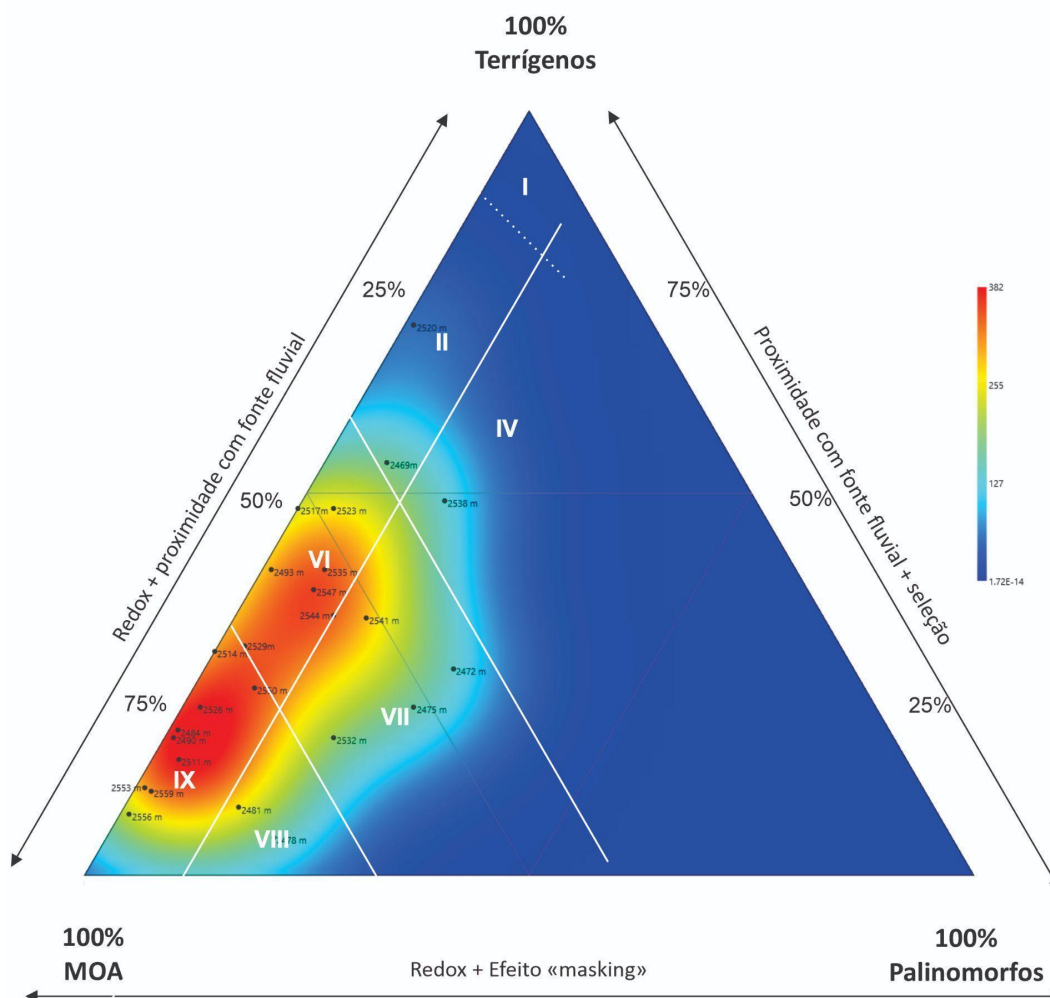


Figura 2. Diagrama-APP (AOM-Photocalls-Palynomorphs-Diagram), modificado de Tyson (1995).

Considerando a abundância e a distribuição da matéria orgânica, seus grupos e subgrupos, foram identificadas 4 associações de palinofácies. A Palinofácies I (2469–2481 m) é constituída pelo aumento no aporte terrígeno, com predominância de pseudomorfos e fitoclastos não-bioestruturados listrados não-opacos (em média 41%) e palinomorfos (18% em média), além de diminuição na quantidade de MOA e presença de algas de água doce (*Scenedesmus*, *Pediastrum* e *Botryococcus*). A Palinofácies II (2481–2526 m) é caracterizada por níveis altos de opacos (entre 2,3–36,6%) e não-opacos (entre 4,6–35,6%), e raros palinomorfos (aproximadamente 2,6%). A Palinofácies III (2526–2550 m) possui quantidades similares de não-opacos (entre 18–42%) e MOA (em média 56%). A Palinofácies IV é composta por índices elevados de MOA (70–90,67%)

Devido à presença de algas do gênero *Pediastrum*, algas continentais que toleram salinidade $\geq 3.5\%$, não é possível indicar influência marinha no intervalo das amostras analisadas, corroborando com a hipótese de um depósito não-marinho, para essa formação (Gonzalez, 2020). Dessa forma,

infe-se que a Formação Codó foi depositada em um sistema lagunar, marcado por períodos menos secos e com maior *input* de material terrígeno (figura 2), Palinofácies I e III (figura 3) e períodos de menos energia, Palinofácies II e IV (figura 3), considerando-se que em bacias com alta preservação de MOA e com condições redutoras o material terrestre alóctone só é dominante próximo a fontes flúvio-deltaicas ou com turbiditos (Tyson, 1984, 1987, 1993). Os dados colaboram para a hipótese de um paleoclima mais úmido (Santos et al., 2022), durante a separação do Brasil com a África. As Palinofácies I e III, caracterizadas pela entrada de maior material terrígeno, podem ser resultantes do aumento do fluxo hídrico na região e maior transporte e deposição de material proveniente de plantas continentais. A região seria propensa para geração de Querogênio tipo II, porém os dados de Fluorescência apontam para uma matéria orgânica pouco madura.

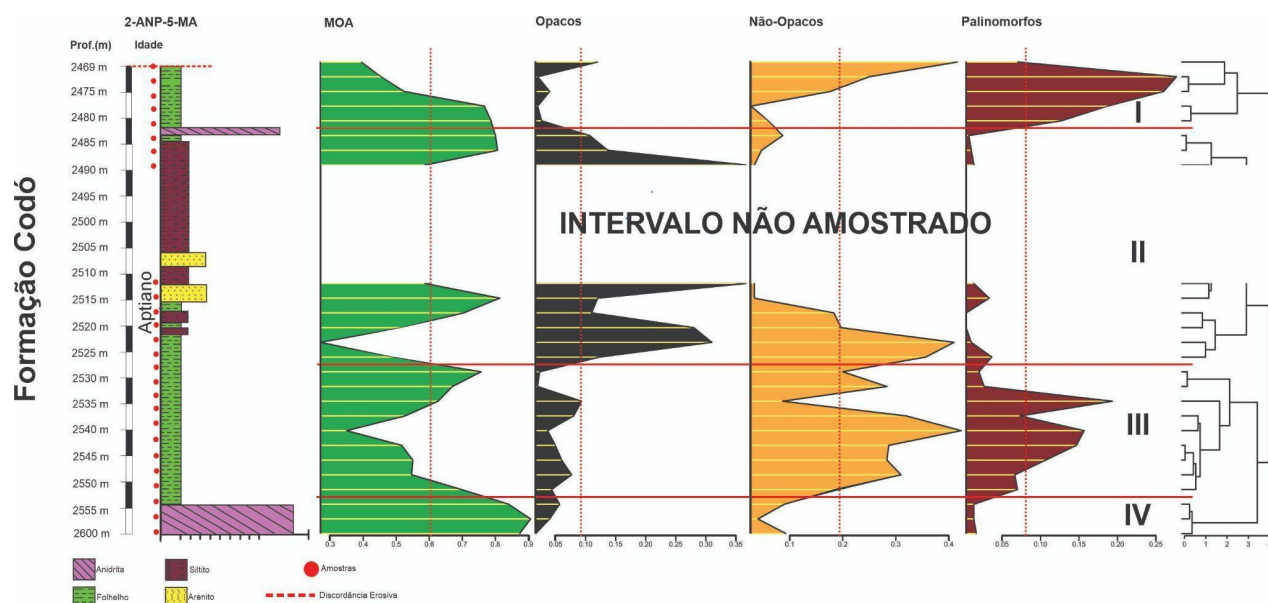


Figura 3. Perfil da calha, modificado do Perfil Composto do Poço, 2-ANP-5-MA, disponibilizado no site ANP-TERRESTRE, a esquerda. A direita o gráfico da distribuição dos principais grupos e subgrupos da MOS, correlacionados com seu intervalo amostra. As linhas vermelhas, horizontais, representam os limites de cada uma das palinofácies individualizadas e as linhas pontilhadas, na vertical, indicam os valores médios de cada grupo.

Conclusões

A análise de dados sobre a amostra de calha do poço 2-ANP-5-MA, permitiu reconhecer o tipo de Querogênio e seu nível de Maturação Térmica e a interpretação do paleoambiente durante sua deposição. Os depósitos relativos à Formação Codó que foram analisados permitiram caracterizar esta formação como um depósito não marinho, próximo a uma fonte flúvio-deltática, o que poderia ser relacionado a um sistema lagunar. Além disso, indicam uma geradora de Querogênio tipo II e propensa a geração de óleo, porém com baixa maturidade do querogênio.

Agradecimentos

Os dados deste trabalho foram feitos através das amostras de calha feitas pela PETROBRAS, no poço 2-ANP-5-MA, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH ANP) - FINEP Gestora - PRH 47.1 - Recursos humanos em sistema petrolífero análogo e simulação de reservatórios em bacias sedimentares. Agradecimento especial para o pesquisador visitante José Gedson Fernandes da Silva pela ajuda durante a idealização deste projeto e a professora Thais Andressa Carrino da UFPE, pela ajuda com o processamento estatístico.

Referências Bibliográficas

- Antonioli, L., and Arai, M., 2002. O registro da ecozona *Subtilisphaera* na Formação Codó (Cretáceo inferior da bacia do Parnaíba, nordeste do Brasil): Seu significado Paleogeográfico. In: Boletim do 6º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil/2 do Simpósio sobre o Cretácico de América del Sur, (6):1-6.
- Bahniuk, A.M., Anjos, S., França, A.B., Matsuda, N., Eiler, J., McKenzie, J.A., Vasconcelos, C., 2014. Development of microbial carbonates in the Lower Cretaceous Codó Formation (north-east Brazil): Implications for interpretation of microbialite facies associations and palaeoenvironmental conditions. *Sedimentology*, 62:155-181.
- Carvalho, M.A., Lana, C.C., Bengtson, P., de S' a, N.P., 2017. Late Aptian (Cretaceous) climate changes in northeastern Brazil: a reconstruction based on indicator species analysis (IndVal). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 485, 543–560. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.07.011>.
- GONZALEZ, Luis D. Caro; MASTALERZ, Maria; MENDONÇA FILHO, João Graciano. Application of organic facies and biomarkers in characterization of paleoenvironmental conditions and maturity of sediments from the Codó Formation in the west-central part of the São Luís Basin, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, v. 225, p. 103482, 2020.
- Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O. 2011. Organic composition (palynofacies analysis) In: 4th ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter, pp. Chapter 5:33-81.
- Paz, J.D.S., and Rossetti, D.F., 2006. Paleohydrology of an upper Aptian lacustrine system from northeastern Brazil: Integration of facies and isotopic geochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241:247-266.
- Paz, J.D.S., Rossetti, D.F., 2005. Linking lacustrine cycles with synsedimentary tectonic episodes: an example from the Codó Formation (Late Aptian), northeastern Brazil. *Geol. Mag.* 142, 269–285.
- Paz, J.D.S., and Rossetti, D.F., 2001. Reconstrução paleoambiental da Formação Codó (Aptiano), borda leste da Bacia do Grajaú, MA. In: Museu Paraense Emílio Goeldi, O Cretáceo Na Bacia de São Luís-Grajaú. Belém, pp. 77–100.
- Rodrigues, R.A., 1995. Geoquímica Orgânica na Bacia do Parnaíba. DSc thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 225.
- Rossetti, D.F., Paz, J.D.S., Goes, A.M., 2004. Facies analysis of the Codó Formation (Late Aptian) in the Grajaú Area, Southern São Luís-Grajaú Basin. *An. Acad. Bras. Cienc.* 76 (4), 791–806. S
- SANTOS, Alessandra et al. Earlier onset of the Early Cretaceous Equatorial humidity belt. *Global and Planetary Change*, v. 208, p. 103724, 2022.
- Sousa, E.S., Junior, G.R.S., Silva, A.F., Reis, F.A.M., Sousa, A.A.C., Cioccarri, G.M., Capillae, R., Souza, I.V.A.F., Imamura, P.M., Rodrigues, R., Lopes, J.A.D., and Lima, S.G., 2019. Biomarkers in Cretaceous sedimentary rocks from the Codó Formation - Parnaíba Basin: Paleoenvironmental assessment. *Journal of South American Earth Sciences*, 92:265-281.
- Tyson, R.V. (1984). Palynofacies investigation of Callovian (Middle Jurassic) sediments from DSDP Site 534, Blake-Bahama Basin, western Central Atlantic. *Marine and Petroleum Geology*, 1, 3-13.

Tyson, R.V. (1987). The genesis and palynofacies characteristics of marine petroleum source rocks. In: Marine Petroleum Source Rocks, Brooks, J. and Fleet, A.J. (Eds.), Oxford, Geological Society Special Publication, Blackwell Scientific Publications, 26, pp. 47- 67.

Tyson, R.V. (1995). Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies. Chapman and Hall, London, 615 pp.

Vaz, P. T., Rezende, N. G. A. M., Wanderley Filho, J. R., & Travassos, W. S. (2007). Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 15(2), 253-263. TYSON, R. V. (1995). Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies. Chapman & Hall. Londres. 615 p.