

Identificação de carvão vegetal macroscópico no nível de *roof-shale* do Afloramento Quitéria, Formação Rio Bonito, permiano inferior da Bacia do Paraná

Odimar Lorini da Costa*

Danielle Christine Oliveira Kionka, Eduardo Périco e André Jasper**

Resumo

As mudanças ambientais alteram a dinâmica dos sistemas e, conseqüentemente, afetam as atividades desenvolvidas pelo ser humano. Na tentativa de estabelecer cenários futuros, para a identificação de mudanças do ambiente, estudos em todo o planeta estão sendo conduzidos utilizando-se marcadores ambientais. Tais marcadores ilustram o comportamento do fogo ao longo do tempo baseado em vestígios deixados pelo mesmo, que permitem a análise do ambiente e a comparação do cenário atual com o passado, auxiliando na construção de modelos eficientes de tendências climáticas globais. O presente estudo apresenta o resultado da análise de amostras contendo carvão vegetal macroscópico provenientes da Fácies Sm (nível de *roof-shale*) do Afloramento Quitéria, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná. Com base nesses resultados foi possível confirmar a ocorrência de paleoincêndios vegetacionais na área durante o Permiano Inferior, ampliar a distribuição desse tipo de material para níveis clásticos.

Palavras-chave: Níveis Clásticos; Paleoincêndios vegetacionais; Paleoclima; Paleoambientes; Paleozoico Superior; Gondwana.

* odimarlc@gmail.com.

** Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado-RS.

Identification of macroscopic charcoal in the roof-shale level of the
Quitéria Outcrop, Rio Bonito formation, lower permian of the
Paraná Basin

Abstract

Environmental changes modify systems dynamics and, therefore, affect activities developed by the human being. On the attempt to establish future scenarios to identify these changes, studies are being conducted around the world using environmental markers. These markers illustrate the fire behavior over time based on its traces, which allow environmental analysis and environmental comparison between the current and the past scenarios, supporting the construction of efficient models of global climatic trends. This study presents results of the analyses of samples containing macroscopic charcoal from the Sm Facies (roof-shale level) from the Quitéria Outcrop, Rio Bonito Formation, Paraná Basin. Based on those results, it was possible to confirm the occurrence of palaeo-wildfires in the area during the Lower Permian, expanding the distribution of that kind of material to clastic levels.

Key words: Clastic levels; Palaeo-wildfires; Palaeoclima; Palaeoenvironments; Late Paleozoic; Gondwana.

Introdução

As mudanças ambientais de âmbito global são, de uma maneira geral, um dos maiores desafios da humanidade na atualidade, sendo a modificação do ambiente natural um dos principais pontos de discussão em diferentes áreas da ciência (CHAMLEY, 2003). Todavia, sendo aceito que os ambientes evoluem mesmo sem a interferência humana, a capacidade de estabelecer cenários futuros, relativos às mudanças ambientais, torna-se uma ferramenta fundamental para a gestão sustentável da relação Ambiente e Desenvolvimento (COSTA et al., 2011).

Segundo Jasper et al. (2011a), uma das formas de se estabelecer cenários ambientais futuros é efetuando estudos de eventos pretéritos, focando, principalmente, em suas causas e consequências para, em um primeiro momento, tentar compreender e explicar as modificações pelas quais o planeta já passou. Na tentativa de estabelecer políticas globais eficientes em matéria de proteção ambiental atual e evitar os possíveis desastres futuros, os estudos de eventos pretéritos podem, além de consolidar modelos, contribuir para a criação de normas que visem à regulamentação de políticas globais de proteção ambiental (SOROKHTIN et al., 2007; JASPER et al., 2011a). Desta forma, é fundamental que políticas de prevenção e/ou correção de distorções decorrentes de atividades humanas, admitam, também, a influência de eventos naturais sem conexão direta com a ação antrópica (FONSECA, 2007).

De acordo com Gastaldo et al. (1996) e Sorokhtin et al. (2007), uma das modificações ambientais mais importantes, na atualidade, refere-se à mudança climática global. Esses autores defendem que, até o momento, não há uma definição com relação à origem da modificação climática pela qual o planeta está passando. A discussão está concentrada na definição da origem da mesma: se consequência de modificações antrópicas efetuadas em curto período de tempo ou; reflexo de uma tendência de modificação vinculada à evolução natural do sistema global como um todo. Considerando que a segunda possibilidade está baseada na ideia de ciclicidade dos sistemas (SOROKHTIN et al., 2007), a qual permite considerar que eventos ocorridos no passado podem vir a se repetir em espaços de tempo variáveis, estudos de eventos pretéritos poderiam auxiliar no debate sobre a mudança do clima global (JASPER; UHL, 2011).

No que se refere à construção de modelos para as tendências climáticas globais, as pesquisas de Scott (2010) e Scott e Damblon (2010) defendem que somente uma análise da evolução de longo prazo a cerca das condições ambientais/atmosféricas, permitiria a construção de modelos mais confiáveis no que se refere às consequências globais das mudanças climáticas. Gastaldo et al.

(1996), foram enfáticos em afirmar que previsões só podem ser efetuadas se for possível realizar comparação do cenário atual com o passado, dando-se atenção específica aos eventos de igual envergadura.

Segundo Pinto (2001), os estudos pontuais de eventos pretéritos dão uma cobertura apenas de uma pequena fração da história do clima da Terra, promovendo uma perspectiva inadequada na evolução do mesmo na atualidade. Uma longa perspectiva na variabilidade do clima pode ser obtida por meio de estudo de fenômenos naturais dependentes ou relacionada ao mesmo por aproximação. Na flutuação climática, a possibilidade de identificar causas e mecanismos nas suas variações é aumentada. Assim, os dados promovem a base para testes de hipóteses sobre as causas de suas mudanças. Somente quando as causas da variação passada forem compreendidas será possível prever antecipadamente o clima do futuro (PINTO, 2001).

Gastaldo et al. (1996) destacaram que a única vez na história da Terra em que houve uma transição de longo prazo, de um sistema glacial (*icehouse*) para um sistema com domínio de grandes massas de vegetação (*greenhouse*), semelhante ao que se espera que aconteça em um futuro próximo, conforme previsões do *International Committee for Coal and Organic Petrology* (ICCP, 2007), foi durante o final da Era Paleozoica e início da Era Mesozoica [no Intervalo Permo-Triássico (+/- 250 Ma AP)]. Os mesmos autores estabeleceram que, portanto, somente uma análise detalhada daquele evento, em todos os seus níveis, permitirá apresentar um quadro mais realista do que se tenta inferir sobre a dinâmica da evolução, ou mudança ambiental global, neste caso específico, a mudança do clima pelo efeito estufa.

Uma das formas de avaliação das condições paleoambientais predominantes ao longo do tempo (incluindo o intervalo Permo-Triássico) é a análise das variações florísticas, tendo em vista que as plantas são excelentes marcadores ambientais (BEERLING, 2006). Entre as diferentes ferramentas utilizadas para tal propósito, uma das que pode ser aplicada é o estudo da dinâmica do fogo, a

qual representa, ainda na atualidade, uma importante fonte de modificação de ecossistemas (SCOTT; STEA, 2002; PRESTON; SCHMIDT, 2006; BOWMAN et al., 2009; FLANNINGAN et al., 2009).

O fogo como fenômeno natural aparece no registro geológico justo com o surgimento das plantas terrestres, influenciando padrões e processos de distribuição e estrutura vegetacional, interferindo no ciclo do carbono e no clima (BOWMAN et al., 2009). Desta forma, pode-se supor que o fogo também desempenhou um papel comparável durante períodos passados da história da Terra (JASPER et al., 2008a). Sendo afetado e, conseqüentemente refletindo, diferentes condições paleoambientais. É importante salientar que o fogo depende diretamente das condições ambientais vigentes em determinada área para ocorrer. Conforme Bowman et al. (2009), os restos de incêndios podem ser utilizados para inferir tais condições, caracterizando-se como uma relação consequência/reflexo. Assim, com base na ocorrência de eventos de incêndio, tanto atuais quanto pretéritos, além de elementos mais subjetivos, é possível definir condições veiculadas, a concentração de O₂ na atmosfera; características do combustível e; fontes de ignição (COLAÇO, 2005; COTTRELL, 1989; GUTSELL; JOHNSON, 2007; BOWMAN et al., 2009; SCOTT; GLASSPOOL, 2006).

Evidências de paleoincêndios vegetacionais, em forma de *charcoal* (carvão vegetal) macroscópico [*sensu* SCOTT (2010) e, doravante, denominado de “carvão vegetal macroscópico” para fins de fluência do texto (JASPER et al., 2011a)], são amplamente aceitos pela ciência como indicadores diretos destes eventos (SCOTT; GLASSPOOL, 2007), ocorrendo em abundância a partir do Siluriano (EDWARDS; MACHADO, 2004; GLASSPOOL et al., 2004), até o Quaternário (MACDONALD et al., 1991; SCOTT, 1989; 2000; SCOTT; GLASSPOOL, 2006; FLANNINGAN et al., 2009). Esses dados apoiam a ideia de que os incêndios ocorreram mais ou menos regularmente em diferentes ecossistemas durante

toda a história da Terra a partir do advento da vegetação terrícola (GLASSPOOL *et al.*, 2004).

Estudos sobre a ocorrência de paleoincêndios, evidenciados por carvão vegetal macroscópico, são abundantes em alguns períodos e áreas, sendo raros para os outros (EDWARDS; MACHADO, 2004; GLASSPOOL *et al.*, 2004; MACDONALD *et al.*, 1991; SCOTT, 1989; 2000; SCOTT; GLASSPOOL, 2006; FLANNIGAN *et al.*, 2009). Um exemplo deste fato é a discrepância entre as informações sobre os incêndios no final do Paleozoico nos hemisférios Sul e Norte. Existem vários artigos publicados sobre paleoincêndios do hemisfério Norte, com estudos aprofundados, principalmente sobre a importância da anatomia e paleoambientais de carvão vegetal macroscópico. Como exemplos podem-se citar os artigos para a Europa (UHL; KERP, 2003; UHL *et al.*, 2004; UHL *et al.*, 2008), América do Norte (SANDER, 1987; SANDER; GEE, 1990; DIMICHELE *et al.*, 2004) e China (WANG; CHEN, 2001). Já para o hemisfério Sul os estudos desta natureza estão concentrados em poucos pesquisadores atuando principalmente na América do Sul mais especificamente na Bacia do Paraná (JASPER *et al.*, 2006, 2007, 2008a, 2008b, 2011a, 2011b, 2011c).

Ainda considerando a escala da temporalidade, outro exemplo da discrepância das informações sobre incêndios ocorridos no passado distante pode ser observado para o Paleozoico. Para o Carbonífero superior existe uma quantidade considerável de trabalhos relatando a ocorrência desses eventos (FALCON-LANG, 1998; FALCON-LANG; SCOTT, 2000; SCOTT, 2001; UHL *et al.*, 2004). Todavia, poucos estudos sobre a ocorrência de carvão vegetal macroscópico como indicador de paleoincêndios durante o Permiano, na parte sul-americana de Gondwana estão disponíveis.

Inicialmente, alguns estudos petrográficos de carvão relataram a ocorrência de carvão putativos do Permiano da América do Sul e a maior parte destas se concentrou sobre as sequências de carvão da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul (HOLZ *et al.*, 2002; KALKREUTH *et al.*, 2006). Somente

recentemente Jasper et al. (2007, 2008, 2011a, 2011b, 2011c) descreveram fragmentos de carvão vegetal macroscópico provenientes desta área em maior detalhe, os quais estavam, também, associados às sequências de carvão.

Após este primeiro registro detalhado de carvão vegetal macroscópico para toda a região, a pesquisa sobre paleocincêndios na parte sul-americana da Gondwana durante o Paleozoico tem aumentado, e mais material foi encontrado recentemente. Jasper et al. (2009, 2011a, 2011b, 2011c, 2013) confirmaram que o carvão vegetal macroscópico é um elemento relativamente comum nas sequências do Permiano da Bacia do Paraná. Assim, a primeira ideia sobre uma potencial lacuna na preservação do carvão vegetal na região deve ser reconsiderada e mais estudos são necessários para se inferir melhor sobre o fogo-ecologia de ecossistemas do Permiano para a região.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo determinar o registro do carvão vegetal macroscópico para o período do Permiano em um nível de *roof-shale* vinculado a níveis de carvão da Bacia do Paraná, utilizando-o como ferramenta que possa auxiliar na elucidação do evento associado à sua formação e permitindo a inferência de cenários ambientais futuros.

Material e métodos

O presente estudo foi desenvolvido com a utilização de amostras oriundas do Afloramento Quitéria o qual representa um sistema formador de camadas de carvão do Permiano da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul (FIGURA 1).

A área de estudo está situada na porção Sudeste da Formação Rio Bonito da Bacia do Paraná, sul do Brasil (JASPER et al., 2008b). As nove sucessões verticais de fácies (FS) identificadas no afloramento por Jasper et al. (2006) representam ciclos de variações relativas do nível de água em uma laguna (FIGURA 2). Desta forma, de acordo com Jasper e Guerra-Sommer (1999), o sistema de deposição pode ser identificado como sendo de deposição costeira associada a uma restrita laguna

protegida por barreira/ilha, onde as fácies são intercaladas com matriz suportadas por conglomerados (Fácies Gmc e Gmco) de origem paraúctone, podendo ser interpretada como aluvial.

Segundo Jasper *et al.* (2008b) a ingressão de material arenoso em terras baixas inundadas mudou a ecologia do meio, gerando de um solo arenoso clástico. A transição de turfa para um ambiente clástico no Afloramento Quitéria é representada por uma interface de turfa-clástica peculiar e está preservada sob a forma de um *roof-shale* (Fácies Sm).

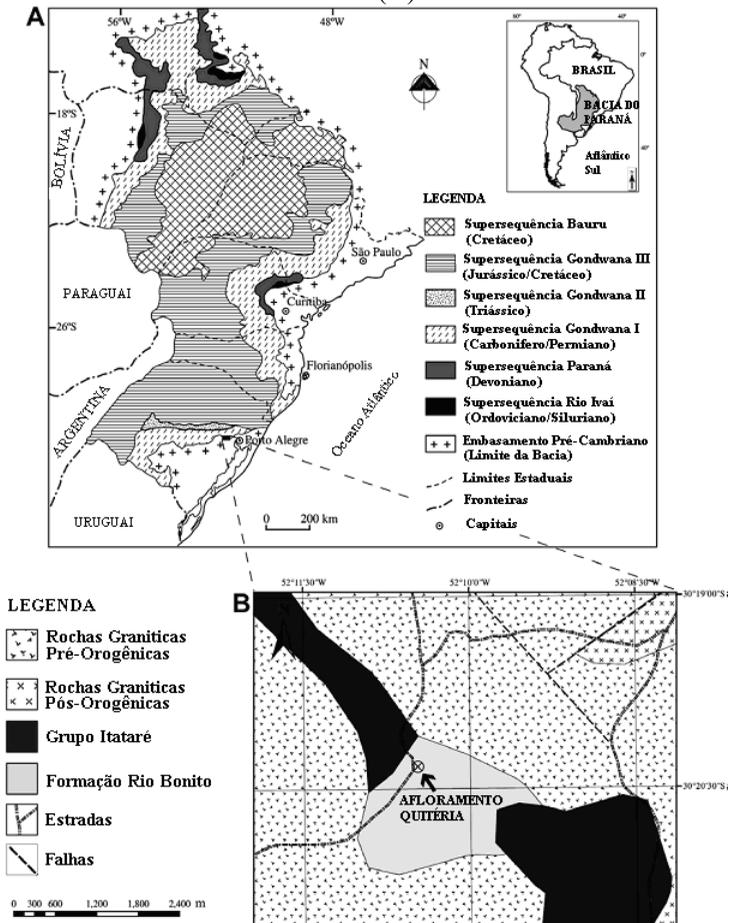
O substrato de várzea clástica, desenvolvido após a cessação da formação de turfa, foi colonizada por uma comunidade pioneira, a qual está preservada em um nível *roof-shale*. Os principais elementos da flora ali preservados são *Brasilodendron pedroanum* (licófitas sub-arborescentes), *Cori cladus quiteriensis* (coníferas) e espécies de sub-bosque como *Botrichyopsis plantiana*, *Lycopodites riograndensis*, *Rubidgea* ? sp. e *Cordaites* ? sp. (JASPER; GUERRA-SOMMER, 1998, 1999; JASPER *et al.*, 2006, 2007; GUERRA-SOMMER *et al.*, 2008; SALVI *et al.*, 2008).

O presente estudo foi efetuado considerando-se uma possível restrição metodológica em avaliações paleoflorísticas anteriores do afloramento, onde a presença de carvão vegetal macroscópico possa ter sido negligenciada. Foram analisadas 14 amostras oriundas do nível de *roof-shale* do afloramento. Em laboratório, com auxílio de um estereomicroscópio (Modelo Leica MS5, aumentos 10 – 40 vezes) os fragmentos que apresentavam características típicas de carvão vegetal macroscópico [*sensu* SCOTT, (2010) – “coloração preto-listrada” e “brilho levemente lustroso/sedoso”] foram separados mecanicamente, não sendo realizado tratamento químico para retirada de impurezas.

Os fragmentos foram montados em *stubs*, sendo levados ao Instituto Tecnológico em Ensaios e Segurança Funcional (ITT Fuse) na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), para, após processo de metalização, efetuar investigação por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (ZEISS EVOLS15). Foram analisadas características anatômicas de cada uma das

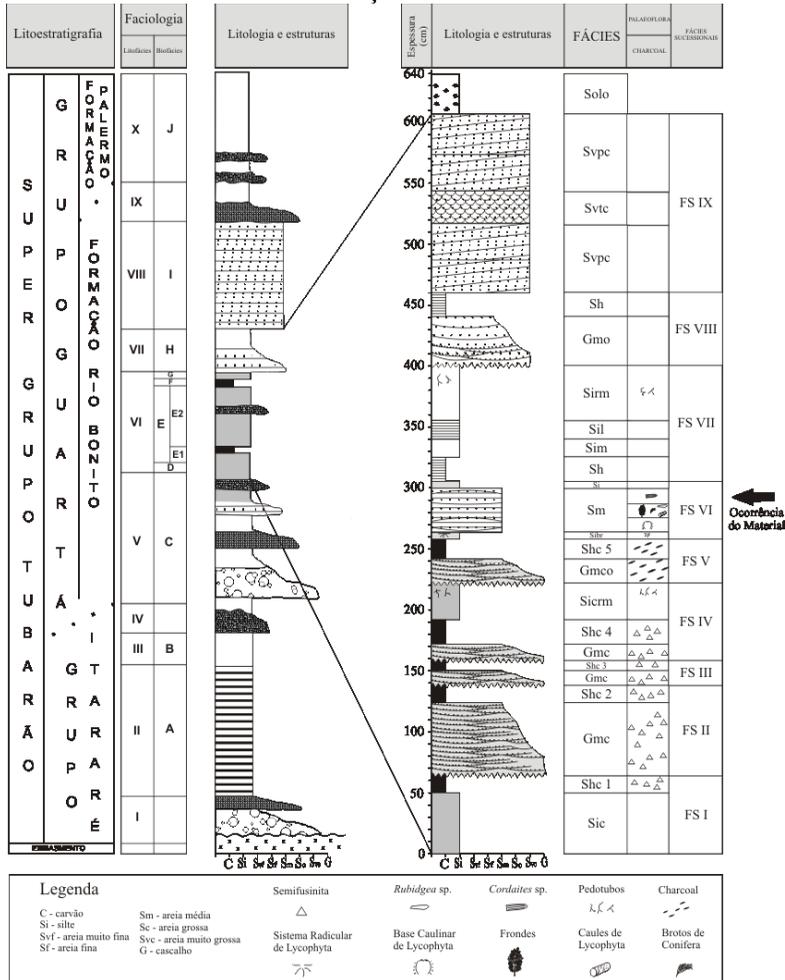
COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...
 amostras do carvão vegetal macroscópico, sendo as mesmas descritas para o presente estudo.

FIGURA 1: Mapa simplificado da Bacia do Paraná (A), em destaque Afloramento Quitéria, área de origem das amostras analisadas (B).



Fonte: Modificado de Guerra-Sommer et al. (2008).

FIGURA 2: Perfil estratigráfico do Afloramento Quitéria. A seta indica a localização das amostras analisadas.



Fonte: modificado de Jasper *et al.* (2006).

Resultados

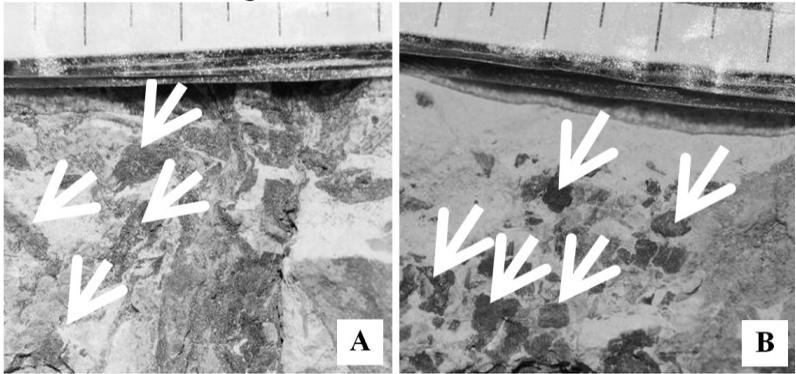
Baseado nos critérios de identificação propostos por Jones e Chaloner (1991) e Scott (2000; 2010), foi possível definir a presença de carvão vegetal macroscópico no nível de *roof-shale* (camada Sm) do Afloramento Quitéria (FIGURA 3). Esse material é visível a olho nu, com dimensões que variam entre 2,66 – 7,52 mm de comprimento, 2,02 – 5,28 mm de largura e 1,0 – 2,0 mm de espessura. Os fragmentos apresentam bordos retos ou denteados, estando apenas levemente desgastados (FIGURA 4).

FIGURA 3: Vista geral do Afloramento Quitéria, com destaque para o nível de *roof-shale* (entre as linhas tracejadas).



Fonte: dos autores (2012).

FIGURA 4: Amostras de mão contendo carvão vegetal macroscópico, apresentando coloração preto-lustrada e brilho levemente lustroso/sedoso. As setas indicam a posição do mesmo nas amostras. A) corresponde à amostra tombada sob código PbU 820 e B) corresponde à amostra tombada sob código PbU 804.



Fonte: dos autores (2012).

A partir da análise sob MEV foi possível identificar que os tecidos dos lenhos foram macerados (

FIGURA 5), provavelmente comprimidos durante o processo diagenético, o que impossibilitou a observação de características histológicas completas que permitissem uma conexão taxonômica específica do material. Todavia, foi possível descrever um morfotipo de lenho, aqui chamado de QRS 01 (QRS de Quitéria – *Roof-Shale*) o qual, apesar de estar associado a amostras de mão distintas, pode representar estágios de crescimento de uma mesma planta.

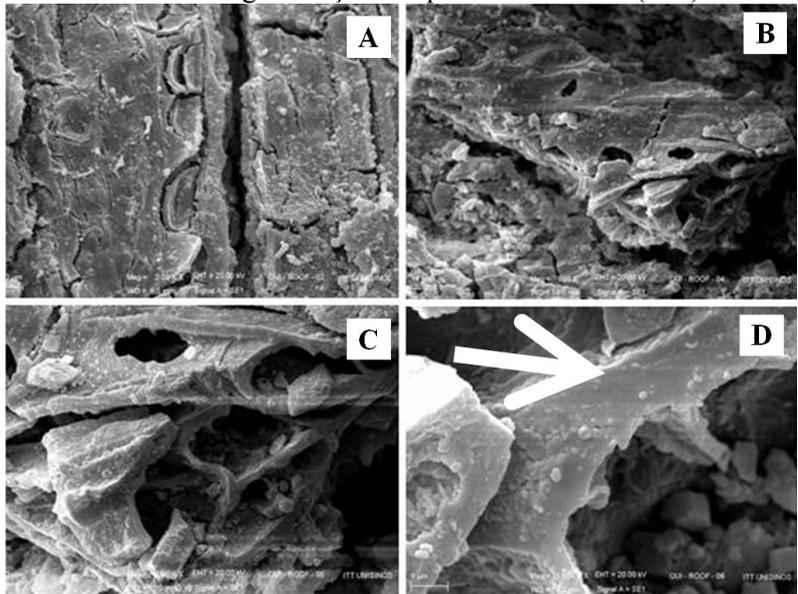
Morfotipo QRS 01

Lenho picnoxílico secundário apresentado traqueídeos em plano longitudinal radial com 10,0 – 11,0 μm de largura. Os traqueídeos exibem pontoações uni-seriadas (

FIGURA 5; A e B). As aberturas das pontoações, bem como seus e bordos são ovais com 4,0 – 5,0 μm de diâmetro. As paredes celulares estão homogeneizadas e têm 1,2 – 3,0 μm de espessura (

FIGURA 5; C e D). Feixes, traços foliares, anéis de crescimento não são visíveis.

FIGURA 5: Imagem sob MEV de fragmentos de carvão vegetal macroscópico provenientes do nível de roof-shale do Afloramento Quitéria. A) porção de elemento de vaso com pontoações preservadas; B) porções de tecido parenquimatoso e de elementos de vaso; C) detalhe de “B”; D) detalhe de “B” demonstrando a homogeneização das paredes celulares (seta).



Fonte: dos autores (2012).

Discussão

Devido à natureza fragmentada do material preservado, apenas um morfotipo (QRS 01) pôde ser descrito, estando suas características diagnósticas bastante restritas. Todavia, com base nos parâmetros estabelecidos para lenhos gondwânicos por Philippe e Bamford (2008), é possível estabelecer uma afinidade gimnospérmica para o material aqui descrito. Apesar de bastante

ampla, esta característica não foge aos padrões encontrados em outros níveis do mesmo afloramento e em outras localidades.

Por outro lado, o fato de os carvões vegetais macroscópicos aqui estudados se encontrarem bastante fragmentados pode estar vinculado ao ambiente deposicional em que eles foram formados. A grande parcela dos registros desse tipo de material descrita até o momento para a Bacia do Paraná foi encontrada associados diretamente a níveis de carvão (JASPER *et al.*, 2009, 2011a, 2011b, 2011c, 2013), sendo raros os casos em que níveis clásticos preservassem algum registro semelhante (MANFROI *et al.*, 2012). Provavelmente, a dinâmica estabelecida em ambientes de turfeiras formadores de níveis carvão, caracterizados por serem de baixa energia e pouco oxigenados, pode ter facilitado a preservação de resíduos de paleoincêndios vegetacionais. Enquanto isso, em sistemas de deposição clástica, caracterizados por uma maior aeração e energia, a movimentação dos sedimentos e dos carvões vegetais macroscópicos neles contidos, acabou por reduzir o potencial de preservação de porções maiores.

Considerando que o restante da macroflora preservada no nível de *roof-shale* do Afloramento Quitéria é considerada de origem autóctone, com elementos *in situ* (JASPER; GUERRA-SOMMER, 1998), é possível supor que os carvões vegetais macroscópicos não foram (se é que foram) transportados por grandes distâncias. A presença de elementos gimnospéricos neste nível (JASPER *et al.*, 2008), torna plenamente plausível que esta vegetação tenha sido atingida por eventos de paleoincêndios vegetacionais, assim como os elementos preservados nos níveis inferiores da localidade. Todavia, estudos mais detalhados para a busca de novos indícios se tornam fundamentais para a compreensão dos processos envolvidos na deposição dos níveis aflorantes na área.

Por fim, a confirmação da presença de carvão vegetal macroscópico em mais um nível clástico da Formação Rio Bonito, além daquele descrito por Manfroi *et al.* (2012), abre a possibilidade de estudos mais amplos acerca da dinâmica dos paleoincêndios vegetacionais ocorridos durante o Permiano na área de estudo. Isto demonstra, também, que este tipo de material não se

COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...
encontra restrito a níveis formadores de carvão de mesma idade,
conforme já inferido anteriormente.

Conclusões

Com base nos dados aqui apresentados e a partir da discussão desenvolvida é possível concluir que:

1. Está confirmada, por meio do registro de carvão vegetal macroscópico, a ocorrência de paleoincêndios vegetacionais para o nível de *roof-shale* (Fácies Sm) do Afloramento Quitéria.
2. Apesar das deformações causadas pelos processos diagenéticos, foi possível identificar, a partir de estruturas presentes, um morfotipo (QRS 01) de possível origem gimnospérmica.
3. Os paleoincêndios vegetacionais do Permiano da Bacia do Paraná não estavam restritos a ambientes formadores de níveis de carvão.
4. São necessários estudos mais aprofundados em níveis clásticos da Formação Rio Bonito para que um cenário acerca dos paleoincêndios vegetacionais deste sistema seja compreendido.

Agradecimentos

O. L. da Costa agradece ao seu orientador (A. Jasper) e coorientador (E. Périco) pela dedicação e ensinamentos repassados durante a processo de aprendizagem. Agradece ainda a D. C. O. Kionka pela dedicação, companheirismo e cumplicidade aplicados em todas as atividades desenvolvidas.

A. Jasper agradece o suporte financeiro da CAPES (A072/2013; BEX 8107-14-9), do CNPq (301585/2012-1, 400972/2013-1, 444330/2014-3), Brasil, e da Alexander von Humboldt Foundation (BRA 1137359 STPCAPES), Alemanha.

Referências bibliográficas

BEERLING, D. **The Emerald Planet**. Oxford. 2006.

BOWMAN, D.M.J.S.; BALCH, J.K.; ARTAXO, P.; BOND, W.J.; CARLSON, J.M.; COCHRANE, M.A.; D'ANTONIO, C.M.; DEFRIES, R.S.; DOYLE, J.C.; HARRISON, S.P.; JOHNSTON, F.H.; KEELEY, J.E.; KRAWCHUK, M.A.; KULL, C.A.; MARSTON, J.B.; MORITZ, M.A.; PRENTICE, I.C.; ROOS, C.I.; SCOTT, A.C.; SWETNAM, T.W.; VAN DER WERF, G.R.; PYNE, S.J. Fire in the Earth System. **Science** 324 481-484. 2009.

CHAMLEY, H. **Geoscience, Environment and Man**. Vol. 1. Amsterdam: Elsevier. 527 pp. 2003.

COLAÇO, M.C.A. **Prevenção de Incêndios Florestais: um estudo sobre a formação dos técnicos florestais**. Universidade de Santiago de Compostela. Departamento de Teoría e Historia da Educación. Programa Interuniversitario de Educación Ambiental. 2005. 117p.

COSTA, O. L. da; JASPER, A.; PÉRICO, E. Paleoincêndios do Permiano para Geração de Modelo Indicador de Mudanças Climáticas Globais. *In: Anais da I Mostra de trabalhos do PPGAD / Neli Teresinha Galarce Machado, Noeli Juarez Ferla, Simone Stülp (Orgs.). - Lajeado: UNIVATES, 2011.*

COTTRELL Jr, W. H., **The Book of Fire**. Mountain Press Publishing Company. USA. 1989.

DIMICHELE, W.A.; HOOK, R.W.; NELSON, W.J.; CHANEY, D.S. An unusual Middle Permian flora from the Blaine Formation (Pease River group: Leonardian-Guadalupean series) of King County, West Texas. **Journal of Paleontology** 78 765-782. 2004.

COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...

FALCON-LANG, H.J. The impact of wildfire on an Early Carboniferous coastal environment, North Mayo, Ireland. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 139 121-138. 1998.

FALCON-LANG, H.J. e SCOTT, A.C. Upland ecology of some Late Carboniferous cordaitalean trees from Nova Scotia and England. *Palaeo* 156 225-242. 2000.

FLANNIGAN, M.D.; KRAWCHUK, M.A.; GROOT, W.J.; WOTTON, B.M.; GOWMAN, L.M. Implications of changing climate for global wildland fire. *Int. Jou. Wildland Fire* 18 483-507. 2009.

FONSECA, F.E. A convergência entre a proteção ambiental e a proteção da pessoa humana no âmbito do direito internacional. *Rev. bras. Política Internacional.* vol.50, n.1, pp. 121-138. 2007.

GASTALDO, R.A.; DIMICHELE, W.A.; PFEFFERKORN, H.W. Out of the Icehouse into the Greenhouse: a Late Paleozoic analog for modern global vegetation change. *GSA Today* 6(10) 1-7. 1996.

GLASSPOOL, I.J.; EDWARDS, D.; AXE, L. *Charcoal* in the Silurian as evidence for the earliest wildfire. *Geology* 32 381-383. 2004.

GUERRA-SOMMER, M., CAZZULO-KLEPZIG, M., JASPER, A., KALKREUTH, W., MENEGAT, R., BARBOZA, E.G. Paleocological patterns at the coal-roof shale transition in an outcrop of the Permian Brazilian Gondwana. *Revista Brasileira de Paleontologia* 11, 11–26. 2008.

GUTSELL, S.L. & JONHSON, E.A. Wildfire and Tree Population Processes. In: JONHSON, E.A.; MIANISHI, K. **Plant Disturbance Ecology: The Process and the Response.** Amsterdam: Editora Elsevier, 2007. 698 p.

HOLZ, M.; KALKREUTH, W.; BANERJEE, I. Sequence Stratigraphy of paralic coalbearing strata: an overview.

ICCP. International Committee for Coal and Organic Petrology. **The XVI International Congress on the Carboniferous and Permian (ICCP 2007)**. Nanjing, China, June 21–24, 2007. Disponível em: <http://www.episodes.co.in/www/backissues/304/300-302%20Conf-Nanjing.pdf>. Acessado em: 13 de março de 2011.

JASPER, A. & GUERRA-SOMMER, M. Licófitas cormofíticas arborescentes do Afloramento Quitéria – Formação Rio Bonito (Bacia do Paraná), RS. **Revista Pesquisas** 25 (1), 43–60. 1998.

JASPER, A. & GUERRA-SOMMER, M. Licófitas arborescentes in situ como elementos importantes na definição de modelos deposicionais (Formação Rio Bonito–Bacia do Paraná–Brasil). **Revista Pesquisas** 26 (1), 49–58. 1999.

JASPER, A. & UHL, D. Using the Late Paleozoic/Early Mesozoic icehouse/greenhouse transition to understand the actual climate change. *In: GOAL Meeting 2011 - Geo-risk management - a German Latin American approach*, 2011, Heidelberg. **Abstracts of GOAL Meeting 2011** (in Freiburger Forschungshefte - Geowissenschaften). Freiberg: Universität Freiberg, v. C 538. p. 95-99. 2011.

JASPER, A.; GUERRA-SOMMER, M.; ABU HAMAD, A. M.B.; BAMFORD, M.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.. TEWARI, R.; UHL, D. The burning of Gondwana: Permian fires on the southern continent – a palaeobotanical approach, **Gondwana Research**. 24. 148–160. 2013.

JASPER, A.; GUERRA-SOMMER, M.; MENEGAT, R.; CAZZULO-KLEPZIG, M.; BRANCO, F.S.R.T.; SALVI, J. **Afloramento Quitéria, Encruzilhada do Sul, RS - Sedimentos lagunares com singular associação fitofossilífera da Formação Rio Bonito**. 2008a.

COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...

JASPER, A.; GUERRA-SOMMER. M.; UHL, D.; SALVI, J.; KAUFFMANN, M.; OSTERKAMP, I.C.; GONÇALVES, C.V. **A ocorrência de incêndios vegetacionais durante o Paleozoico Superior da Bacia do Paraná.** In: CARVALHO I, CASSAB RCT, SCHWANKE C, CARVALHO MA, FERNANDES ACS, RODRIGUES MAC, CARVALHO MSS, ARAI M e OLIVEIRA MEQ (Ed.). *Paleontologia: Cenários de Vida.* 1 14-25. 2007.

JASPER, A.; MENEGAT, R.; GUERRA-SOMMER. M.; CAZZULO-KLEPZIG, M.; SOUZA, P.A. de. Depositional cyclicity and paleoecological variability in na outcrop of Rio Bonito formation, Early Permian, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences.** 21. 276–293. 2006.

JASPER, A.; SECCHI, M.I.; MAHCADO, N.T.G.; UHL, D. The Late Permian/Early Triassic charcoal gap as a model to understand the actual global wildfire dynamics. In: XII International Specialized Conference on Watershed and River Basin Management, Recife 2011. **Anais da XII International Specialized Conference on Watershed and River Basin Management**, Recife 2011c.

JASPER, A., UHL, D., GUERRA-SOMMER, M., BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.C., MACHADO, N.T.G. The Late Paleozoic charcoal remains from South America: multiple evidence of fire events in the coal-bearing strata of the Paraná Basin, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 306, 205-218. 2011b.

JASPER, A.; UHL, D.; GUERRA-SOMMER. M.; MOSBRUGGER, V. Palaeobotanical evidence of wildfires in the Late Palaeozoic of South America (Gondwana) – Early Permian, Rio bonito Formation, Parana Basin, Rio Grande do Sul State, Brazil. **J South Am Earth Scien.** 26 435-444. 2008b.

COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...

JASPER, A., UHL, D., GUERRA-SOMMER, M., ABU HAMAD, A.M.B., MACHADO, N.T.G., Palaeowildfires in Gondwana: Remains from a tonstein in the Faxinal coalfield, a Lower Permian coal succession in Southern Paraná Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência** 83, 471-481. 2011a.

JONES, T.P.& CHALLONER, W.G. Fossil charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** (Global and Planetary Change Section) 97: 39–50. 1991.

KALKREUTH, W.; HOLZ, K.M.; MACHADO, G.; MEXIAS, A.; SILVA, M.B.; WILLET, J.; FINKELMAN, R.; BURGER, H. Petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 1. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coalfields, Rio Grande do Sul, **Brazil. Intern J Coal Geology**. 68 79-116. 2006.

MACDONALD, G.M.; LARSEN, C.P.S; SZEICZ, J.M.; MOSER, K.A. The reconstruction of boreal forest fire history from lake sediments-a comparison of *charcoal*, pollen, sedimentological, and geochemical indexes. **Quaternary Science Reviews** 10 53-71. 1991.

MANFROI, J.; JASPER, A.; GUERRA-SOMMER, M.; UHL, D. Sub-arborescent lycophytes in coal-bearing strata from the Artinskian (Early Permian/Cisuralian) of the Santa Catarina Coalfield (Paraná Basin, SC, Brazil). **Revista Brasileira de Paleontologia** 15 (2), 135–140. 2012.

PHILIPPE, M. & BAMFORD, M.K. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. **Review of Palaeobotany and Palynology** 148, 184–207. 2008.

PINTO, J. E. S. de S. A Importância da Paleoclimatologia para os Estudos Arqueológicos. Canindé, **Xingó**, nº 1, 2001.

- COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...
- PRESTON, C.M. & SCHMIDT, M.W.I. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. **Biogeosciences** 3 397-420. 2006.
- SALVI, J.; JASPER, A.; RICARDI-BRANCO, F.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.C.; GUERRA-SOMMER, M. Record of the genus *Lycopodites* in the Lower Permian of Paraná Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 80 (3), 553–563. 2008.
- SANDER, P.M. Taphonomy of the Lower Permian Geraldine bonebed in Archer County, Texas. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** 61: 221-236. 1987.
- SANDER, P.M. & GEE, C.T. Fossil *charcoal*: techniques and applications. **Rev. Palaeobot. Palynol.** 63: 269-279. 1990.
- SCOTT, A.C. Observations on the nature and origin of fusain. **Int. J. Coal Geol.** 12: 443-475. 1989.
- SCOTT, A.C. The pre-Quaternary history of fire. **Palaeo** 164: 281-329. 2000.
- SCOTT, A.C. The preservation of woods in pyroclastic flows and surges. **Abstr., Annu Meet-Geol. Soc. Am.** A68. 2001.
- SCOTT, A.C. *Charcoal* recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. **Paleo** 3 291: 11-39. 2010.
- SCOTT, A.C. & DAMBLON, F. *Charcoal*: Taphonomy and significance in geology, botany and archaeology. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.** 291: DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.03.044. 2010.
- SCOTT, A.C. & GLASSPOOL, I. The Diversification of Paleozoic fire systems and fluctuation in atmospheric oxygen concentration. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA.** 103

COSTA, O.L. da *et al.* Identificação de carvão vegetal macroscópico no ...
(29): 10861-10865. 2006.

SCOTT, A.C. & GLASSPOOL, I. Observations and experiments on the origin and formation of inertinite group macerals. **International Journal of Coal Geology**. 70: 53-66. 2007.

SCOTT, A.C. & STEA, R. Fires sweep across the Mid-Cretaceous landscape of Nova Scotia. **Geoscientist** 12 (1) 4-6. 2002.

SOROKHTIN, O.G.; CHILINGAR, G.V. e KHILYUR, L.F. Global warming and global cooling: evolution of climate on Earth. *In: Developments in Earth & Environmental Sciences* 5. Elsevier. 313p. 2007.

UHL, D. & KERP, H. Wildfires in the Late Palaeozoic of Central Europe – The Zechstein (Upper Permian) of NW – Hesse (Germany). **Palaeo** 199: 1-15. 2003.

UHL, D.; JASPER, A.; HAMAD, A.M.B.A.; MONTENARI, M. Permian and Triassic wildfires and atmospheric oxygen levels. *In: Complete articles from the 1st WSEAS International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG'08)*. Malta. 179-188. 2008.

UHL, D.; LAUSBERG, S.; NOLL, R.; STAPF, K.R.G. Wildfires in the Late Palaeozoic of Central Europe – an overview of the Rotliengend (Upper Carboniferous – Lower Permian) of the Saar – Nahe Basin (SW – Germany). **Palaeo3** 207: 23-35. 2004.

WANG, Z.Q. & CHEN, N.S. Traces of arborescent lycopsids and dieback of the forest vegetation in relation to the terminal Permian mass extinction in North China. **Review of Palaeobotany and Palynology** 117, 217–243. 2001.

Recebido em julho de 2013
Aceito em abril de 2016