

O Condrito Rio do Pires: aspectos petrográficos e mineraloquímicos

Wilton Pinto de CARVALHO^{1,2}, Débora Correia RIOS^{1,2}, Maria Elizabeth ZUCOLOTTO³, Herbet CONCEIÇÃO^{1,2,4}, Amanda Araújo TOSI⁵ & Murilo Magno GOMES²

¹ Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, 147, CEP 40.170-115, Salvador, BA, Brasil (doutor.wilton@gmail.com.br).

² Grupo de Pesquisa Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral. Rua Barão de Jeremoabo, 147, CEP 40.170-115, Salvador, BA, Brasil (dcrios@ufba.br), (murvacio@hotmail.com).

³ Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Quinta da Boa Vista. São Cristóvão, CEP 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (mezucolotto@globo.com).

⁴ Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, Jardim Rosa Elze, CEP 49.100-000. São Cristóvão, SE, Brasil (herbet@ufs.br).

⁵ Labsonda, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21044-020, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (amandatosi@hotmail.com).

Carvalho, W.P. de, Rios, D.C., Zucolotto, M.E., Conceição, H., Tosi, A.A. & Gomes, M.M. 2018. O Condrito Rio do Pires: aspectos petrográficos e mineraloquímicos. *Pesquisas em Geociências*, 45: e0666.

DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.88647>

Resumo. O meteorito Rio do Pires é um condrito tipo L6 achado antes de 1992 na Bahia, Brasil, em data desconhecida, tendo seu registro publicado no *Meteoritical Bulletin* em 1994, através de análise simplificada requerida para esse procedimento, apresentada por Adrian Brearley da Universidade do Novo México, E.U.A. Esse estudo objetiva ampliar os dados existentes sobre esse meteorito, através do detalhamento de suas características petrográficas, químicas e mineralógicas. Foram realizadas análises em três lâminas polido-delgadas e em uma amostra de mão, utilizando microscópio petrográfico e lupa petrográfica estereomicroscópica, microsonda eletrônica (EPMA) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise petrográfica permitiu constatar a existência de veios de choque resultantes de evento colisional do corpo parental que originou esse meteorito. Aproximadamente 93% dos minerais que compõem essa rocha são transparentes, predominando cristais de olivina, piroxênio e plagioclásio, nesta ordem. Os minerais opacos são representados por grãos de Fe-Ni metálicos, troilita, cromita e whitlockita (merrilita). A olivina é predominantemente magnésiana (Fa₂₅). O piroxênio é a enstatita e o plagioclásio oligoclásio. A mineraloquímica observada é similar a do bem estudado meteorito Suizhou, um condrito do tipo L6. A matriz demonstra sinais de alta recristalização e presença de maskelinita, um importante indicador de choque, sendo significativa para o entendimento da história evolucionária do Rio do Pires. Os novos dados indicam um grau de choque entre S4 e S5 para este meteorito, em vez do grau S6 proposto quando de seu registro no *Meteoritical Bulletin*.

Palavras-chave. Condrito, meteorito, L6, Rio do Pires.

Abstract. THE RIO DO PIRES CHONDRITE: PETROGRAPHIC AND MINERAL CHEMISTRY FEATURES. The Rio do Pires meteorite is a L6 chondrite found in Bahia, Brazil, at an unknown date. It was registered at the *Meteoritical Bulletin* in 1994, through a simplified analysis required for this procedure, presented by Adrian Brearley, University of New Mexico, USA. This paper aims to broaden the existing data on this meteorite through detailed petrographic, chemical and mineralogical analysis. Such analyses were performed on three polished thin sections and a hand sample, using a petrographic microscope and stereomicroscopic petrographic magnifying glass, electron microprobe (EPMA) and scanning electron microscope (MEV). The petrographic analysis shows the existence of shock veins caused by an impact event of the parent body that originated this meteorite. Approximately 93% of the minerals that compose this rock are transparent, predominating crystals of olivine, pyroxene and plagioclase, in this order. Opaque minerals are represented by Fe-Ni metal grains, troilite, chromite, and whitlockite (merrillite). Olivine is predominantly magnesian (Fa ~ 25%). The pyroxene is the enstatite and the plagioclase is oligoclase. The observed mineral chemistry is similar to that of the well-studied Suizhou meteorite, a chondrite type L6. The matrix shows signs of high re-crystallization and presence of maskelynite, an important indicator of shock, being significant for understanding the evolutionary history of Rio do Pires. The new data indicate a S4 to S5 shock grade for this meteorite, instead of the S6 grade proposed when it was submitted to the *Meteoritical Bulletin*.

Keywords. Chondrite, meteorite, L6, Rio do Pires.

1 Introdução

Meteoritos chocam-se com a Terra desde os primórdios do Sistema Solar e são definidos como rochas e ligas metálicas de Fe-Ni de origem espacial que caíram na superfície terrestre e foram recuperados. São amostras extraterrestres passíveis de estudos petrográficos, químicos e isotópicos, os quais permitem determinar suas texturas e composições, assim como datar eventos relacionados à formação e evolução de astros que constituem o Sistema Solar. O banco de dados mantido pela *Meteoritical Society*, entidade responsável pela nomenclatura de meteoritos, tem registrado mais de 50 mil meteoritos, inclusive os espécimes coletados na Antártida e desertos orientais, demonstrando que o número de achados e quedas dessas rochas espaciais é significativo (Grossman, 2017).

No Brasil, o Museu Nacional mantém registros da coleção de meteoritos brasileiros, cujo número ainda é pequeno (71 exemplares), comparativamente às coleções de outros países, como os Estados Unidos que tem 1.831 meteoritos registrados. A coleção brasileira é constituída por 35 exemplares (49,29%) de meteoritos rochosos, 35 de ferro (49,29%) e um único misto, um palasito composto de ferro e olivina (1,42%). Essa proporção é discordante em relação à frequência mundial de quedas e achados, onde os meteoritos rochosos (condritos e acondritos) correspondem a 97% e os metálicos (férreos e palasitos) a 3%. Explica-se essa discordância, também encontrada em coleções de outros países, pela alta densidade e tamanho dos meteoritos metálicos, o que facilita seu reconhecimento, e pela grande resistência ao intemperismo, que os fazem permanecer longo tempo sem se decompor até serem achados.

A distribuição geográfica destas quedas e achados pelos estados federativos também é irregular, cabendo a Minas Gerais a primeira posição com 20 espécimes, seguida pelo Rio Grande do Sul com oito, Goiás com sete, São Paulo e Bahia com seis, cada um. Dos seis meteoritos baianos, dois são do tipo condritico, denominados Rio do Pires e Três Irmãos, sendo o primeiro objeto deste artigo. Não há explicação científica para Minas Gerais abrigar 29% do total de meteoritos do Brasil, uma vez que

esses corpos caem aleatoriamente na superfície terrestre, podendo-se aventar a possibilidade de uma maior presença de geólogos e mineradores naquele estado favorecer o reconhecimento dos achados e quedas.

O histórico do meteorito Rio do Pires é bastante vago. A amostra foi doada ao primeiro autor deste artigo em 1992 pelo Prof. Shiguemi Fujimori, catedrático em petrologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, que a obteve de um ex-aluno, o geólogo Ismael Medeiros, que informou tê-la recebido do garimpeiro Luís Dias enquanto trabalhava na região de Rio do Pires, mais especificamente no povoado de Ibiajara. A data do achado é desconhecida, estimando-se ter acontecido em 1981.

O município de Rio do Pires localiza-se na região Sudoeste da Bahia, distando cerca de 596 km da capital do estado (Fig. 1). O acesso por via rodoviária, a partir de Salvador, ocorre através da BR 324, BR 242 e BA 152. A sede do município tem como coordenadas geográficas Latitude 13° e Longitude 42°. A altitude é de 551 m, com área de 892,8 km².

Devido à ausência de informações seguras quanto ao achado, em 1994 o meteorito foi denominado Rio do Pires e as coordenadas da sede desse município foram utilizadas para fins de registro do espécime junto ao *Meteoritical Bulletin*, conforme notificação feita pelo Dr. Adrian Brearley, do Instituto de Meteorítica da Universidade do Novo México, Estados Unidos que o classificou como um condrito ordinário, tipo L6, publicando análise resumida no *Meteoritical Bulletin* nº 77 (Wlotzka, 1994).

Desde então, publicou-se apenas um resumo (Antonello & Zucolotto, 2001) sobre as características petrográficas desse meteorito, existindo assim uma carência marcante de trabalhos acadêmicos sobre esse importante material extraterrestre. O presente trabalho tem por objetivo descrever e caracterizar a mineralogia e petrologia desta rocha em seus aspectos petrográficos e mineraloquímicos, contribuindo assim para a ampliação dos estudos sobre os meteoritos brasileiros.

2.3 Côndrulos

Estudos em côndrulos têm atraído muita atenção nos últimos anos pelas importantes informações que trazem sobre os primórdios da formação dos astros do Sistema Solar, incluindo a Terra. Acredita-se que os côndrulos foram formados a partir de minerais condensados da nuvem de gás e poeira cósmica que originou o Sistema Solar e que posteriormente sofreram fusão em diferentes regiões da nebulosa (Hutchison, 2004). Uma vez formados e reunidos em massas maiores, os côndrulos originaram corpos não diferenciados (planetesimais condriticos) que mantiveram suas estruturas físicas e composições químicas inalteradas (meteoritos condritos primitivos). Processos de diferenciação e/ou alterações metamórficas resultaram no desaparecimento dos côndrulos devido à fusão parcial ou total, originando meteoritos diferenciados, que incluem os meteoritos acondriticos e metálicos, em procedimentos evolutivos similares aos que resultaram nas estruturas acamadadas dos planetas rochosos (Messenger *et al.*, 2006, McSween Jr. *et al.*, 2006). Os meteoritos condritos são, portanto, rochas não diferenciadas que preservaram suas estruturas internas resultantes da acreção de grãos que se aglutinaram formando esferas geralmente poliminerálicas que podem se apresentar íntegras ou metamorfozadas.

2.3 Inclusões ricas em cálcio

Em um mesmo condrito, os côndrulos podem possuir distintas composições mineralógicas e texturas. Experimentos realizados em laboratório por Hewins & Connolly Jr. (1996) determinaram que os côndrulos fundem-se entre 1.500 e 1.850 °C, conforme o maior ou menor conteúdo de minerais refratários.

Outra característica importante dos meteoritos condritos é a presença de inclusões ricas em cálcio e alumínio, denominadas CAIs, que são formadas por minerais de alta temperatura tais como olivina, coríndon, hibonita, perovskita, anortita, melilita e espinélio. Essas inclusões em meteoritos condritos são anteriores aos próprios côndrulos e representam o material mais antigo

já datado no Sistema Solar, atingindo $4.567,2 \pm 0,6$ Ma (Amelin *et al.*, 2002).

3 Materiais e métodos

3.1 Materiais

O espécime que se encontrava no Instituto de Geociências da UFBA pesava 118 gramas, com sua aresta maior medindo 4 cm (Fig. 2A). Uma das faces estava serrada (Fig. 2B) sugerindo retirada de fatia para análise da textura interior e confecção de lâmina petrográfica, entretanto não foram localizados resultados de quaisquer exames realizados na UFBA ou em outra instituição de pesquisa, tampouco foram localizados outros fragmentos da amostra.

A Universidade do Novo México e o Museu Nacional são as instituições depositárias de amostras desse meteorito. Foi utilizada neste trabalho a massa remanescente (35 g) do fragmento original – a qual integra a coleção de meteoritos do primeiro autor desse trabalho – uma fatia metalizada para análise através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e três lâminas polido-delgadas.

3.2 Métodos

A amostra de mão (35 g) e uma pequena fatia polida do meteorito foram analisadas a olho nu e com lupa estereoscópica binocular. Três lâminas polido-delgadas foram preparadas pelo método convencional e na espessura padrão (0,3 mm), sendo analisadas com microscópio petrográfico Zeiss Axioskop 40 equipado com AxioCam de alta resolução e aplicativo Axiovision versão 4.7, nos laboratórios do Museu Nacional, UFRJ, sob luz transmitida, polarizada e refletida.

As análises mineraloquímicas das fases essenciais e algumas acessórias utilizaram a microsonda eletrônica JXA-JEOL 8230, com cinco espectrômetros, equipada com WDS/EDS, e utilizando uma câmera AxionCam HRC-AX10 e o software Zen2 Core, localizados no Labsonda do Instituto de Geociências da UFRJ. As condições analíticas foram de aceleração potencial 15 kV e um feixe de 20 nA. Padrões de referência de composições bem conhecidas foram utilizados para as análises quan-

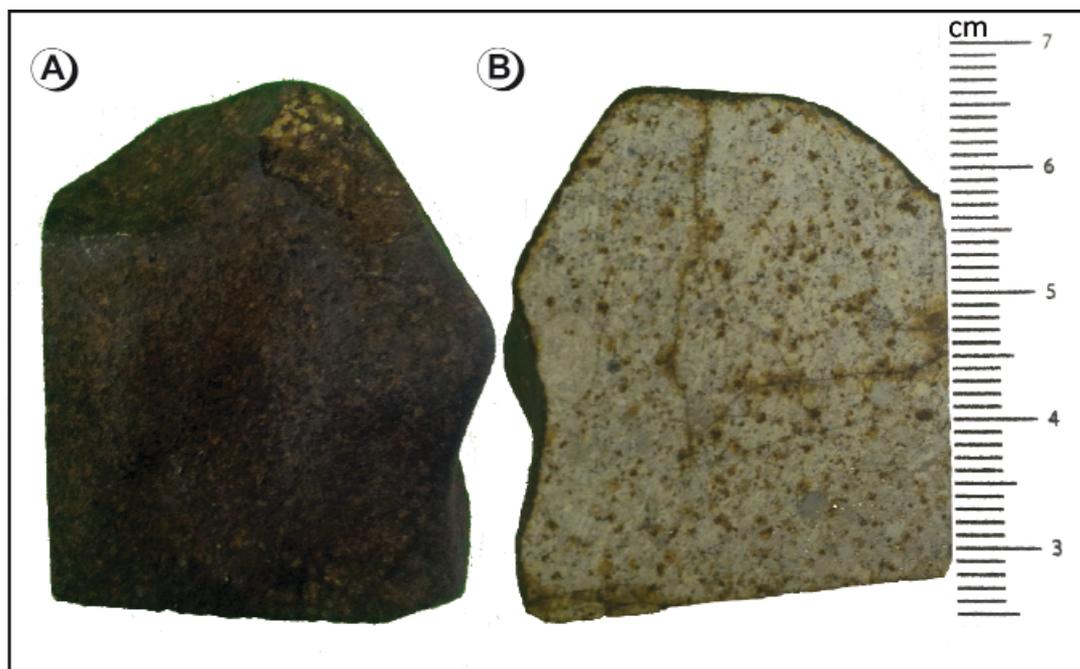


Figura 2. Amostra do meteorito Rio do Pires. A) Fragmento com crosta; B) Face de corte da massa remanescente, exibindo diversos veios finos e retilíneos.

Figure 2. Sample from Rio do Pires meteorite. A) Fragment with crust. B) Cut face of remnant mass, exhibiting various fine and straight veins.

titativas dos minerais de interesse.

Uma fatia do meteorito foi polida e metalizada com ouro, sendo analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) no laboratório multiusuário da Universidade Federal de Sergipe. O equipamento utilizado é da marca TESCAN modelo VEJA 3-LMU com detectores acoplados de elétrons secundários, elétrons retroespalhados e de cátodo luminescência. O espectrômetro de energia dispersiva (EDS) acoplado ao MEV é da Oxford Instruments, modelo X-Act, e tem resolução de 125 eV. As condições analíticas utilizadas durante as análises foram uma aceleração potencial de 20kV e corrente de 15 nA e 17 nA, gerando um feixe de elétrons com diâmetros de 0,3 μm e 0,4 μm , respectivamente.

4 Resultados

4.1 Análises petrográficas

Na avaliação de meteoritos, em especial de condritos, os estudos petrográficos permitem avaliar o caráter primitivo dessas rochas que não passaram por processos de diferenciação e apresentam textura única – a presença de côndrulos – sem similar na Terra.

Os estudos petrográficos das seções polidas do meteorito Rio do Pires tiveram como objetivos principais: (i) investigar suas assembléias minerais e relacionamentos texturais e estruturais, (ii) inferir as paragêneses minerais, (iii) selecionar aspectos importantes para detalhamento com o microscópio eletrônico de varredura e microsonda eletrônica. Adicionalmente buscou-se avaliar as estruturas internas e feições de deformação resultantes de possíveis impactos que o corpo parental sofreu no espaço. Esses efeitos causam alterações nos minerais que compõem o meteorito, permitindo inferir o grau do choque sofrido (Stöffler *et al.*, 1991).

No meteorito Rio do Pires a matriz e a parte condrítica representam 92,7% da amostra em volume, os minerais opacos totalizam 5,3% e a crosta 2,0%. Veios de choque formados durante evento colisional no espaço são facilmente visíveis a olho nu e através de lupa. A amostra original era totalmente revestida por uma crosta de fusão preta fina (0,3 a 0,5 mm), preservada nas fatias analisadas e amostra de mão. Essa crosta vitrificada foi formada durante a passagem do meteorito pela atmosfera terrestre (Fig. 2).

O fragmento analisado (35 g) apresenta exteriormente numerosos regmalitos (mossas), crosta

de fusão primária e secundária, esta última indicadora de fragmentação do meteorito durante o vôo através da atmosfera terrestre. A parte interna é de cor cinza claro, apresentando textura tipicamente condritica, com muitos côndrulos fragmentados, alongados ou circulares, cujos limites são mal definidos e difíceis de ser observados. Inclusões metálicas de Fe-Ni e minerais opacos destacam-se em uma matriz de fina granulação com veios de choque bem delineados (Fig. 2B).

De acordo com Xie & Chen (2015), a mineralogia destas rochas é geralmente muito simples, consistindo de olivina, piroxênio pobre em Ca, e ligas de Fe-Ni (kamacita e taenita). Minerais varietais comuns incluem plagioclásio, diopsídio, e troilita, enquanto a mineralogia acessória é constituída por cromita, whitlockita (merrillita), e cloro-apatita. Podem ainda ocorrer cobre nativo, pigeonita, pentlandita, ilmenita, mackinawita, bravoita e calcopirita.

De acordo com medidas estatísticas feitas a partir de um fotomosaico da lâmina delgada utilizando o programa *ImageJ* (National Institutes of Health, 2013), o condrito Rio do Pires contém 94,72% de minerais transparentes (Fig. 3A e B) e 5,28% de minerais opacos, em volume (Fig. 3C). O meteorito apresenta textura cristalina granular, com vários côndrulos que ainda preservam limites

discerníveis em relação à matriz, enquanto muitos outros possuem limites indistintos, indicando que a rocha foi submetida a um evento metamórfico de elevado grau térmico (Fig. 3A e B).

A matriz mostra sinais de alta recristalização com cristais uniformes de olivina, piroxênio, plagioclásio, minerais opacos e, adicionalmente, hematita e goethita ou lepidocrosita, as quais formam as fases secundárias identificadas, resultantes de intemperismo.

A maskelinita – um vidro denso resultante da fusão do plagioclásio – também foi identificada, sendo sua presença significativa para o entendimento da história colisional da rocha, pois é uma importante evidência de choque (Chen & El Goresy, 2000).

A textura condritica do meteorito Rio do Pires está preservada e pode ainda ser reconhecida tanto no espécime de mão quanto em lâmina polido-delgada (Fig. 2 e 3). Os côndrulos têm composição ferro-magnésiana e apresentam-se sob formatos arredondados (Fig. 3B) ou alongados, a maioria fragmentada e alguns com estrutura radiante fibrosa difusa (Fig. 3B). Eles medem em média 1,64 mm, variando de 0,3 a 5 mm em diâmetro.

Foram identificados côndrulos porfiríticos compostos de olivina, de piroxênio e de olivina-piroxênio (Fig. 4). Entretanto, em sua maioria,

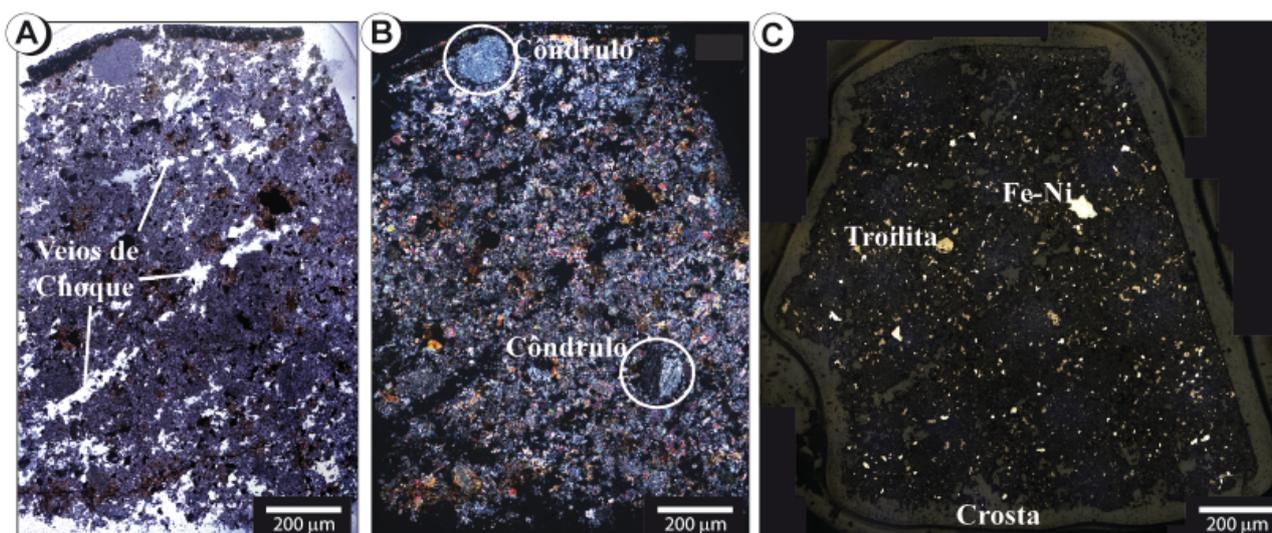


Figura 3. Fotomosaicos de uma lâmina polida do meteorito Rio do Pires. Minerais transparentes e côndrulos observáveis em (A) Luz Transmitida; e (B) Luz Polarizada. Mineralogia opaca evidenciada na imagem de luz refletida após tratamento com nital (C). As fases de cor branca correspondem à liga Fe-Ni e os cristais amarelo-dourado são troilitas.

Figure 3. Photo assemblage from a thin section of meteorite Rio do Pires. Transparent minerals and chondrules observed at (A) Transmitted light and (B) Polarized light. Opaque minerals highlighted by the image under reflected light after etching with nital (C). White phases are Fe-Ni alloy and golden-yellow crystals are troilites.

os côndrulos são granulares, compostos também desses dois minerais, isoladamente ou combinados. Outro tipo de côndrulo encontrado nesse meteorito é composto por olivina barrada. As fases metálicas predominantes são a kamacita e a taenita, além de existir quantidades acessórias de troilita, cromita e fosfatos.

4.2 Análises mineraloquímicas

4.2.1 Minerais formadores de rochas

As análises mineraloquímicas do meteorito Rio do Pires foram subdivididas em minerais formadores de rochas (olivina, piroxênio e plagioclásio), minerais opacos (liga de Fe-Ni, troilita, cromita), e fosfatos (merrilita, cloroapatita). Análises de dez pontos investigados por microsonda eletrônica (EPMA) e sete áreas observadas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) confirmam os achados petrográficos e permitiram quantificar as composições das fases minerais observadas (Fig. 5). Além disso, o estudo por MEV revelou a existência e composição do mineral fosfatado whitlockita (merrilita).

Olivina

Olivina é o principal constituinte do meteorito Rio do Pires. Os cristais de olivina apresentam alta birrefringência e a maioria encontra-se fragmentada e fraturada, exibindo extinção ondulatória (Fig. 4). Na matriz, os cristais fragmentados de olivina apresentam cor amarelada a esverdeada com pleocroísmo fraco, com alguns cristais formando côndrulos barrados (Fig. 5A).

A maioria dos côndrulos é composta de cristais de olivina, os quais apresentam formas arredondadas a alongadas. Esse mineral também é encontrado incluso em cristais de piroxênio. De acordo com resultados de microsonda eletrônica (EPMA) para dez cristais (Tab. 1), esta olivina é rica em Mg ($Fa_{24,2-25,8} - Fo_{73,7-75,3}$).

O conteúdo de elementos-traço é bastante uniforme, possuindo teores extremamente baixos (< 0,03%) de TiO_2 e Al_2O_3 . Os conteúdos de CaO (< 0,03%) também são baixos e a concentração

de MnO varia de 0,40 a 0,51 %. Estes valores são coerentes com a média para o meteorito condritico do tipo L6 Suizhou (Xie & Chen, 2015). No Rio do Pires, o conteúdo médio de Fa é de 25,2 mol, permitindo representar esta olivina pela fórmula $(Mg_{1.46}Fe_{0.50}Mn_{0.01})_2SiO_4$.

Piroxênio

Piroxênio é o segundo mineral em abundância no meteorito Rio do Pires. Os côndrulos de piroxênio são alongados (Fig. 4E), apresentando efeitos típicos de choque tais como baixa birrefringência em tons do cinza, extinção ondulatória, mosaicismos (aglomerados de cristais muito pequenos) e geminação mecânica (Fig. 5A). Em alguns cristais são observadas fraturas planares. Côndrulos radiais são raros e os poucos encontrados apresentam estrutura difusa (Fig. 4D). Análises por EPMA de 9 cristais de piroxênio neste condrito demonstram tratar-se de ortopiroxênio (Fig. 5A) com conteúdo médio de Enstatita variando de 73,4 a 77,3% e teores de $21,2 \leq Fs \leq 25,0$ mol.

O ortopiroxênio do Rio do Pires é representado pela fórmula $\{(Mg_{0.759}Fe_{0.211}Ca_{0.014})_{0.984}(Si_{1.007}Al_{0.002})_{1.009}O_3\}$. As concentrações médias dos elementos maiores são respectivamente SiO_2 56,10%, MgO 28,35% e FeO 14,09% e os conteúdos de MnO (0,39-0,48%) (Tab. 2) são similares aos da olivina ($0,40 \leq MnO \leq 0,51\%$). A pequena variação dos elementos maiores de olivina e ortopiroxênio (Fig. 5A) indica que os conteúdos de elementos maiores no condrito Rio do Pires estão em equilíbrio, fato também observado no meteorito condritico Suizhou (Xie & Chen, 2015). Os conteúdos de elementos menores são também bastante uniformes e baixos. TiO_2 e Al_2O_3 são inferiores a 0,25%. O Cálcio varia de 0,50 a 0,83%. Os teores de Na_2O e K_2O estão abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica.

Plagioclásio

O plagioclásio é um mineral bastante comum nos meteoritos condriticos dos tipos L5 e L6. No Rio do Pires ocorre como grãos de formato irregular de cor cinza e tamanhos em torno de 70-190 μm (Fig. 5A). Antonello & Zucolotto (2001) descre-

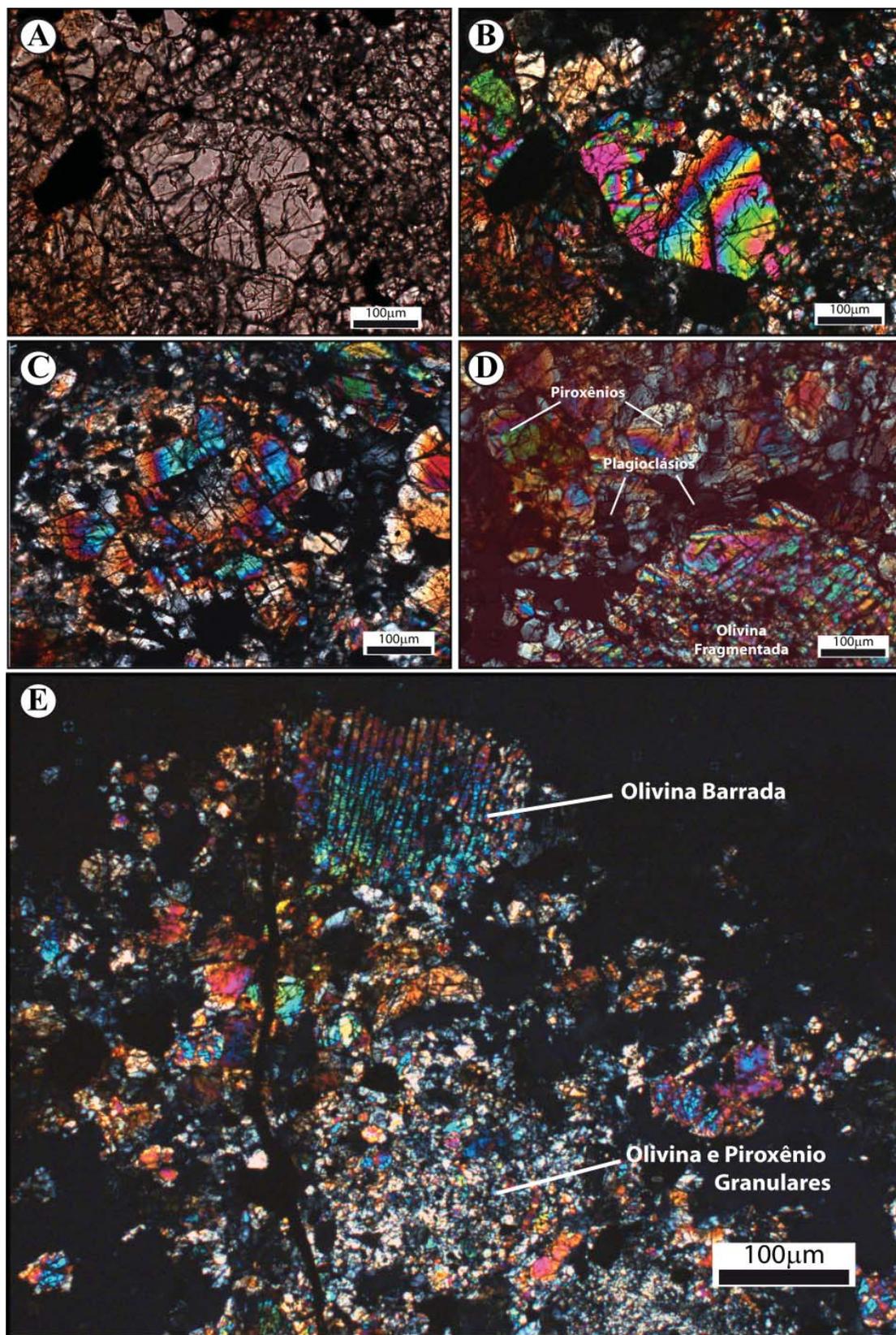


Figura 4. Fotomicrografias de cõndrulos imersos na matriz cristalina do meteorito Rio do Pires. Pórfiro de olivina eudral e fragmentada em luz transmitida (A) e (B); Pórfiro de piroxênio em luz polarizada (C); Cõndrulo com pórfiros de olivina fragmentada, piroxênio e plagioclásio, em luz polarizada (D); Cõndrulo de olivina e piroxênio granulares e cõndrulo de olivina barrada, em luz polarizada (E).

Figure 4. Photomicrographs of chondrules imbedded in the crystalline matrix in Rio do Pires meteorite. A euhedral olivine porphyry under transmitted light (A) and polarized light (B); Pyroxene porphyry under polarized light (C); Chondrule with porphyries of fragmented olivine, pyroxene, and plagioclase, under polarized light (D); A granular chondrule of olivine and pyroxene and a chondrule of barred olivine, under polarized light.

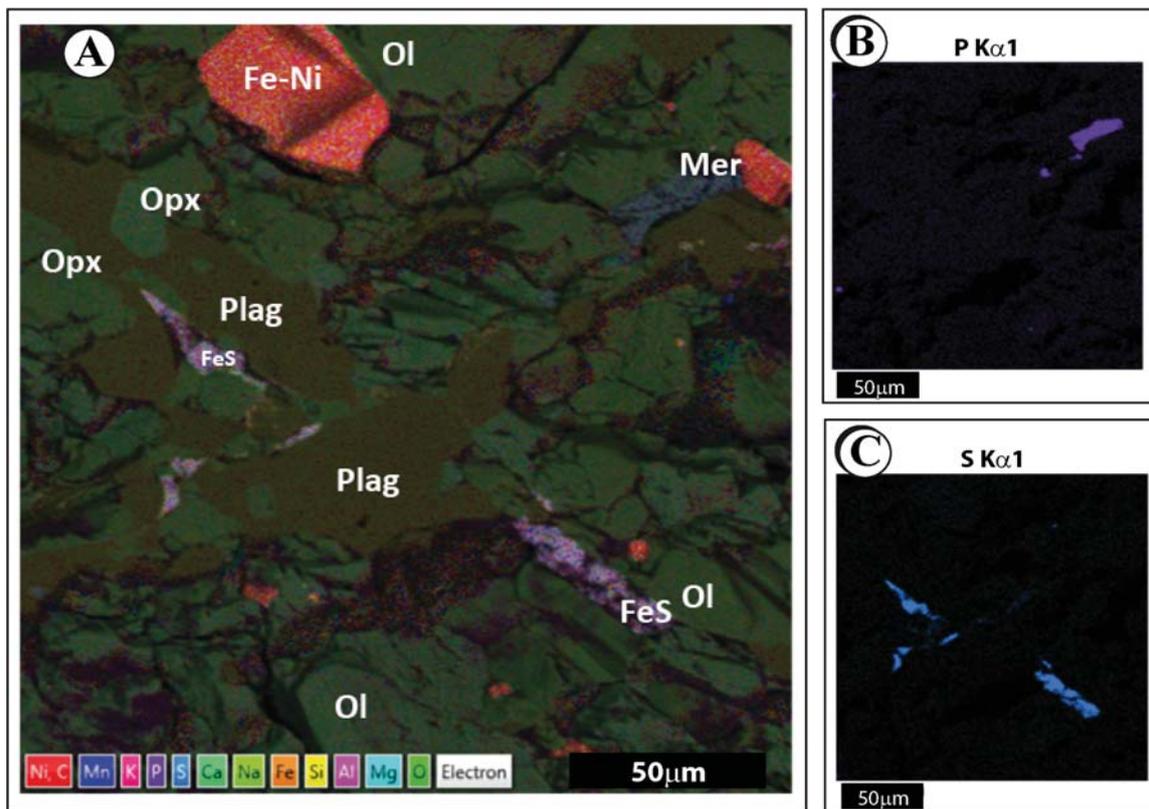


Figura 5. Mapas de varredura por EDS-MEV dos minerais principais observados no meteorito Rio do Pires. A) Campo com olivina, ortopiroxênio, plagioclásio, metal, fosfato e sulfeto; B) Mapa Elemental para o Fósforo; C) Mapa Elemental para o Enxofre. Ol = Olivina, Opx = Enstatita, Mer = Merrilita, Plag = Plagioclásio, FeS = Troilita, Fe-Ni = Liga metálica de ferro e níquel.
 Figure 5. Elemental maps by scanning electron microscopy showing minerals observed in Rio do Pires meteorite. A) Study field showing olivine, orthopyroxene, plagioclase, metal, phosphate and sulfide; B) Elemental map of Phosphorus; C) Elemental map of Sulphur. Ol = Olivine, Opx = Enstatite, Mer = Merrilite, Plag = Plagioclase, FeS = Troilite, Fe-Ni = iron-niquel metal alloy.

Tabela 1. Composição química da olivina no meteorito Rio do Pires (wt %).
 Table 1. Chemical composition of the olivine in the Rio do Pires meteorite (wt %).

Amostra	Suizhou-Olv (média #19)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média #10
Referência	Wang et al., 1990	RP-OI	RP-OI	RP-OI	RP-OI							
Oxido	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
SiO ₂	38,66	38,54	38,56	38,62	38,36	38,59	38,66	39,04	38,64	38,93	38,68	38,66
TiO ₂	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	0,51	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01
Cr ₂ O ₃	0,51	na	na	na	na	na	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01
FeO	21,76	23,31	22,98	23,13	22,89	22,94	22,69	21,92	23,25	22,87	23,12	22,91
MnO	0,52	0,42	0,46	0,43	0,40	0,40	0,51	0,44	0,50	0,51	0,49	0,45
MgO	37,99	37,38	37,61	37,62	37,25	37,74	37,63	38,26	38,34	38,11	38,56	37,85
NiO	0,12	na	na	na	na	na	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
CaO	0,10	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
TOTAL	100,25	99,67	99,63	99,83	98,93	99,74	99,56	99,77	100,76	100,42	100,86	99,93
Fo	75,04	73,74	74,09	74,00	74,04	74,23	74,30	75,31	74,21	74,40	74,44	74,28
Fa	24,11	25,80	25,40	25,52	25,52	25,32	25,13	24,20	25,24	25,04	25,03	25,22
Te	0,58	0,47	0,51	0,48	0,45	0,45	0,57	0,49	0,55	0,56	0,53	0,51

Valores determinados por EPMA. na = não analisado. Fo = Forsterita, Fa = Fayalita, Te = Tephroita

RP-OI = Olivina analisada no meteorito condritico Rio do Pires (este trabalho).

vem o plagioclásio como uma fase acessória no Rio do Pires, associado à presença de maskelinita.

Os cristais estudados apresentam formas irregulares, extinção ondulatória e fraturas, feições típicas de choque, ocorrendo como constituinte intersticial na matriz. Não foi possível estimar a razão de plagioclásio/maskelinita.

A composição química do plagioclásio (Tab. 3) nesse meteorito é predominantemente sódica ($80,54 < Ab < 83,05$), com conteúdo pouco variável da molécula de Or (6,33 a 7,95) e An (10,27 a 11,88). Os dados permitem classificar este plagioclásio como oligoclásio e estabelecer a seguinte fórmula geral: $(Na_{0.74}K_{0.06}Ca_{0.10}Fe_{0.02})_{0.92}Al_{1.05}(Si_{2.90}Al_{0.07})_{3.00}O_8$.

A composição química da maskelinita representada pela fórmula é $(Na_{0.59}K_{0.06}Ca_{0.11}Fe_{0.02})_{0.78}Al_{1.06}(Si_{2.93}Al_{0.07})_{3.00}O_8$, calculada a partir de análises MEV realizadas em 14 pontos, sendo muito similar à fórmula do plagioclásio. No sítio X, posição comumente ocupada por Na e Ca, também é comum encontrar a substituição parcial destes íons por Ba, Sr, Ni, Eu e mesmo Cr e outros.

4.2.2 Minerais opacos

Os minerais opacos observados nas lâminas do Rio do Pires examinadas neste estudo correspondem a cerca de 5,3% em volume da rocha, tendo sido identificadas três fases principais: Fe-Ni metal, troilita e cromita. De acordo com Rubin (1997) a razão taenita/kamacita em condritos ordinários do tipo L é de ~0.3, isto é, possuem concentrações de kamacita 3 vezes maiores que a taenita.

Além dessas duas fases principais é possível identificar quantidades acessórias de tetrataenita, awaruita, pentlandita (em espécimes oxidados), ilmenita, rutilo e cobre metálico que são fases mais raras em abundância (<10-4wt%), mas bastante frequentes, presentes em aproximadamente 66% dos condritos já analisados.

Ferro-Níquel metálico

O Fe-Ni metálico sob a forma de uma solução sólida é um componente muito frequente nos meteoritos rochosos e predominante nos me-

Tabela 2. Composição química do ortopiroxênio no meteorito Rio do Pires (wt %).
Table 2. Chemical composition of orthopyroxene in the Rio do Pires meteorite (wt %)

Amostra	Suizhou-Px (média #3)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média #9
Referência	Xie & Chen 2015	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px	RP-Px
Óxido	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
SiO ₂	55,78	55,91	56,14	56,32	55,93	55,96	56,02	56,10	56,27	56,27	56,10
TiO ₂	0,16	0,20	0,24	0,15	0,16	0,23	0,05	0,05	0,06	0,07	0,13
Al ₂ O ₃	0,16	0,13	0,17	0,17	0,16	0,16	0,04	0,02	0,04	0,05	0,10
Cr ₂ O ₃	0,11	na	na	na	na	na	0,07	0,10	0,06	0,05	0,03
FeO	13,95	14,11	14,24	13,99	14,17	14,07	14,40	14,10	13,90	13,79	14,09
MnO	0,50	0,46	0,39	0,43	0,48	0,44	0,16	0,02	0,00	0,03	0,27
MgO	29,24	28,47	28,35	28,26	28,06	28,38	27,55	29,10	28,57	28,45	28,35
CaO	0,72	0,75	0,67	0,66	0,71	0,75	0,83	0,80	0,65	0,50	0,70
Na ₂ O	0,04	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
K ₂ O	0,01	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Total	100,66	100,03	100,20	99,99	99,66	99,99	99,11	100,27	99,54	99,21	99,78
En	78,84	76,24	75,49	75,13	75,17	75,87	73,45	77,30	75,64	75,33	75,51
Fs	19,77	22,31	23,23	23,61	23,46	22,68	24,97	21,17	23,12	23,73	23,14
Wo	1,39	1,45	1,29	1,26	1,37	1,45	1,58	1,53	1,23	0,94	1,34

Valores determinados por EPMA. na = não analisado. En = Enstatita, Fs = Ferrosilita, Wo = Wollastonita.

RP-Px = Piroxênio analisado no meteorito condritico Rio do Pires (este trabalho).

Tabela 3. Composição química do plagioclásio no meteorito Rio do Pires (wt %).
 Table 3. Chemical composition of plagioclase in the Rio do Pires meteorite (wt %).

Óxido (wt%)	Suizhou Plag (Média 3)	1	2	3	4	5	6	Média #6
Referência	Xie & Chen 2015	RP-Plag	RP-Plag	RP-Plag	RP-Plag	RP-Plag	RP-Plag	RP-Plag
Óxido	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
SiO ₂	65,76	64,50	64,30	66,40	66,70	65,80	65,90	65,60
TiO ₂	0,04	na	na	na	na	na	na	na
Al ₂ O ₃	21,77	22,80	22,90	21,50	21,30	21,00	21,30	21,80
FeO	0,41	0,30	0,60	0,50	0,50	0,40	0,50	0,47
MnO	0,02	na	na	na	na	na	na	na
MgO	na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02
CaO	2,21	2,30	2,00	2,10	2,00	2,20	2,30	2,15
Na ₂ O	8,87	8,80	8,80	8,40	8,60	9,50	8,70	8,80
K ₂ O	1,31	1,30	1,30	1,10	1,00	1,10	1,10	1,15
BaO	0,02	na	na	na	na	na	na	na
TOTAL	100,41	100,00	99,90	100,00	100,10	100,00	99,90	99,98
Or	7,89	7,83	7,95	7,04	6,35	6,33	6,77	7,04
Ab	80,97	80,54	81,78	81,68	82,99	83,05	81,35	81,90
An	11,15	11,63	10,27	11,28	10,66	10,63	11,88	11,06

Valores determinados por EDS-MEV. na = não analisado. Or = Ortoclásio. Ab = Albita. Na = Anortita.

RP-Plag = Plagioclásio analisado no meteorito condritico Rio do Pires (este trabalho).

táticos e palasitos (mistos). A concentração de Ni nessa liga nos condritos ordinários varia de 7 a 45 wt% (Oshtrakh et al., 2008). Os três minerais que compõem a solução sólida Fe-Ni metálico são denominados: i) kamacita (α Fe-Ni), ii) taenita (γ Fe-Ni) e iii) plessita, uma mistura de kamacita e taenita granulares, com conteúdo de Ni de 20-25 wt%.

O Fe-Ni metálico é a fase majoritária entre os minerais opacos do meteorito Rio do Pires, possuindo distribuição heterogênea. A análise ocorreu após uma amostra ser tratada com nital (solução HNO₃, C₂H₆O a 2%) revelando a liga de Fe-Ni (Fig. 3C) em suas diversas formas, sobressaindo-se a kamacita hachuriada e kamacita com bandas de Neumann, taenita zonada e não zonada e tetrataenita, uma fase rara em condritos. Ocorrências de plessita e martensita também foram observadas (Fig. 6).

Os cristais metálicos de Fe-Ni do meteorito Rio do Pires sob luz refletida apresentam cor branca metálica, tem formato irregular e tamanho variando desde partículas micrométricas a grãos milimétricos. O conteúdo de Ni nessa liga varia de 5

a 32%. Medidas realizadas com EDS demonstram homogeneidade da kamacita (Fe = 94,2 a 95,0%, Ni = 5,0 a 5,8% e Co = 0,81 a 0,87%), que ocorre como grãos individuais e como agregados policristalinos. Por sua vez, a taenita, naturalmente mais rica em Ni que a kamacita, possui um conteúdo médio de Fe de 76,36 wt% e Ni de 23,63 wt%. A plessita, uma mistura de kamacita e taenita, também está presente entre os minerais opacos desse meteorito, apresentando-se zonada – referida por alguns autores como taenita, e não zonada – também denominada plessita propriamente dita.

Nos cristais de kamacita existem numerosas linhas paralelas, denominadas bandas de Neumann (Buchwald, 1975) que são lamelas geminadas produzidas por choque (Fig. 6A).

Observou-se ainda a martensita (Fig. 6B) – solução-sólida de ferro-carbono que forma cristais lenticulares - em textura intragranular. Estes cristais de martensita são provavelmente resultantes da decomposição da taenita e sua presença é um indicador de distúrbios produzidos por choque sofrido pelo meteorito no espaço (Xie & Chen, 2015).

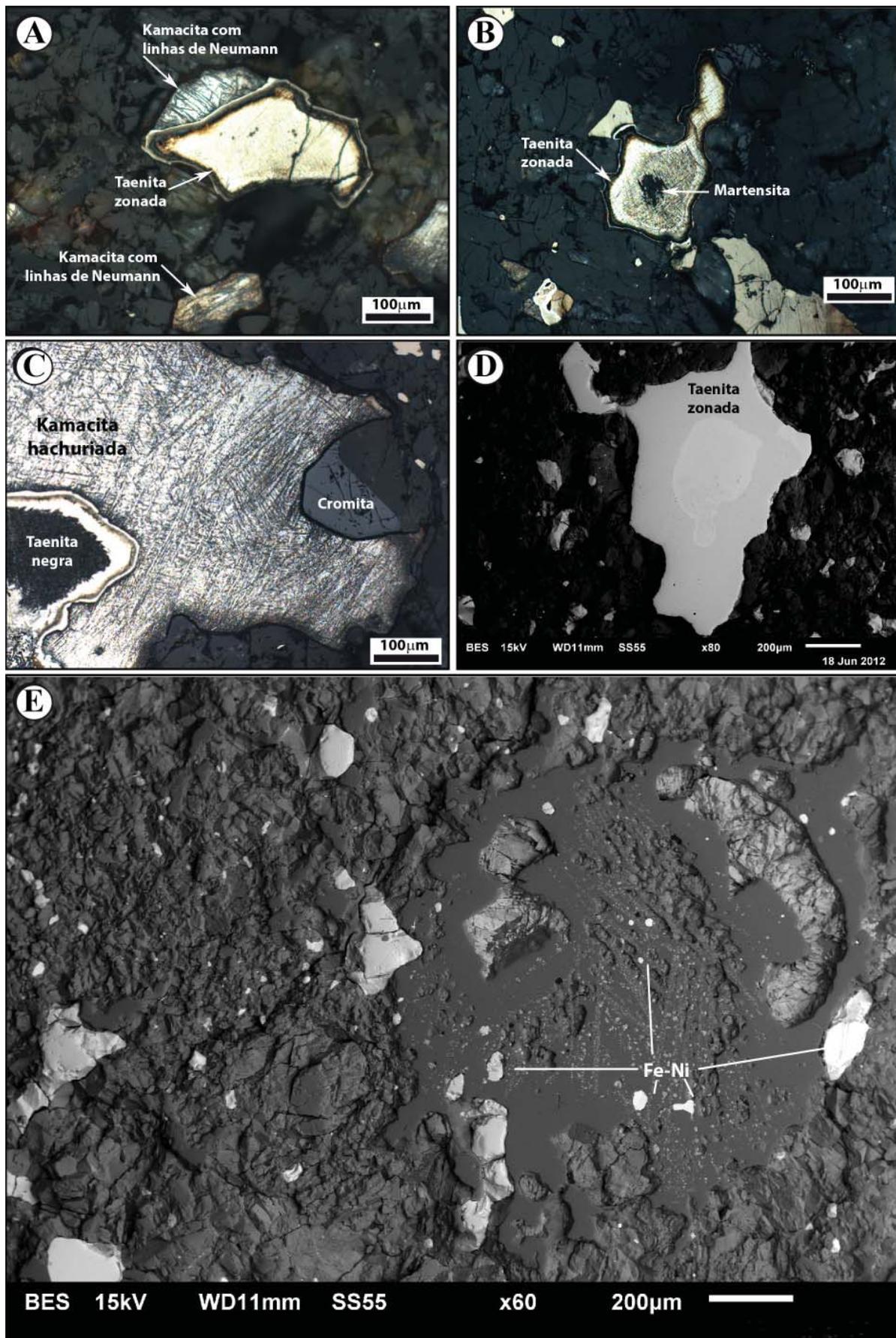


Figura 6. Fases metálicas de Fe-Ni. A) Kamacita com linhas de Neumann e taenita zonada; B) Taenita e martensita; C) Kamacita hachuriada e taenita negra; D) Taenita zonada; E) Vestígios de côndrulo com inclusões de Fe-Ni.

Figure 6. Fe-Ni metal phases. A) Kamacite with Neumann lines and zoned taenite; B) Taenite and martensite; C) Hatched kamacite and black taenite; D) Zoned taenite; E) Chondrule remnants with Fe-Ni inclusions.

Ferro-Níquel metálico: Troilita

Esse sulfeto de ferro com fórmula geral FeS foi primeiramente observado pelo monge italiano Dominique Troili (Troili, 1766) no meteorito condrítico Albareto que caiu na Itália em 1766. Contudo, apenas em 1862 este sulfeto foi identificado como um novo mineral por Gustav Rose, que o denominou troilita em homenagem ao monge (Marvin, 2001). É um mineral muito comum nos meteoritos,

porém de raríssima ocorrência na crosta terrestre.

A troilita apresenta-se no meteorito Rio do Pires em grãos arredondados ou alongados, de cor dourada, cuja composição química média consiste de 65,5% Fe e 34,5% S (Fig. 5A e 5C). Não foram observados efeitos de choque nos grãos de troilita examinados, a exemplo de mosaicismos, texturas intragranulares ou indícios de fusão por impacto (Fig. 7).

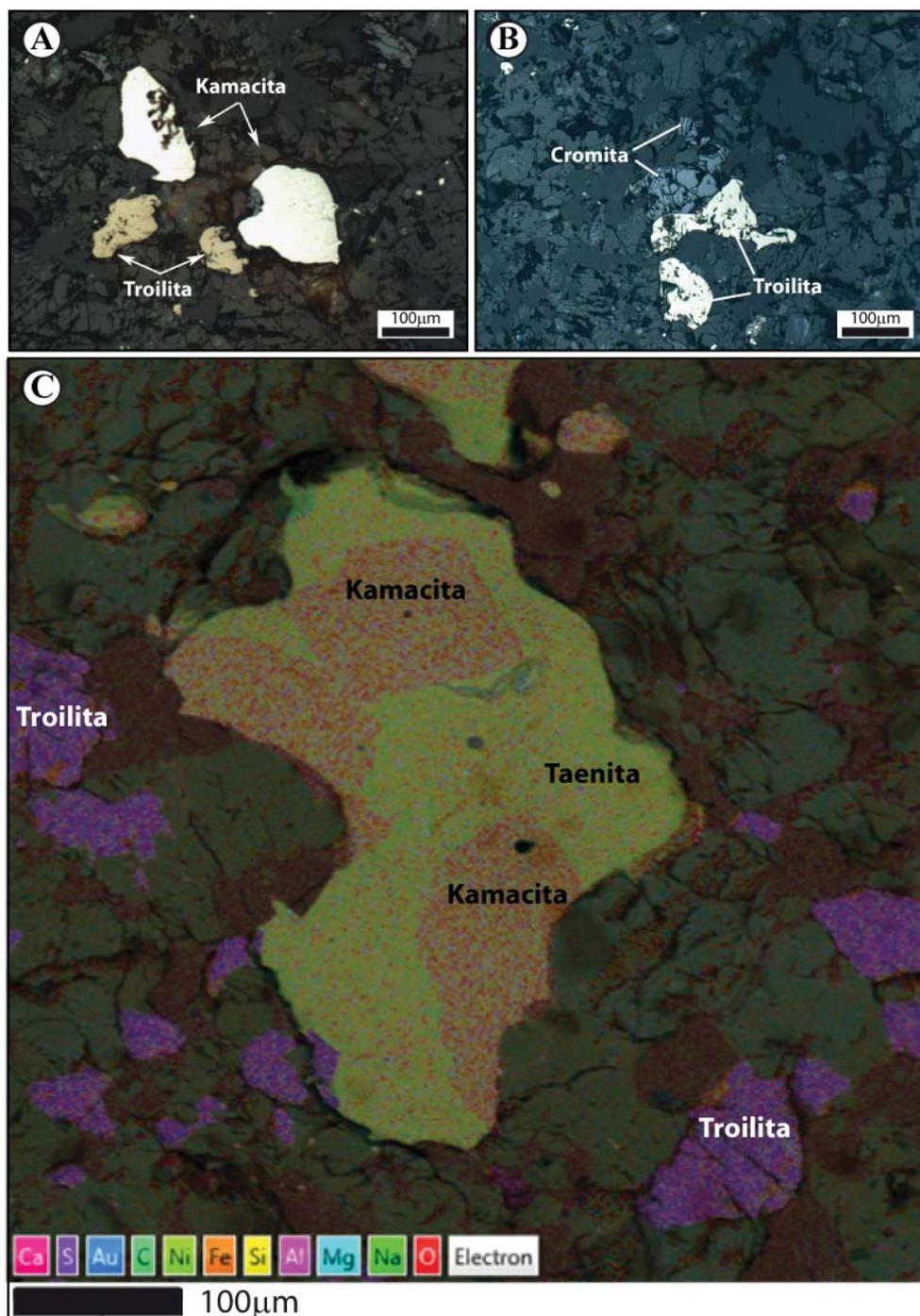


Figura 7. Imagens de texturas apresentadas por minerais opacos. A) Liga Fe-Ni e troilita; B) Troilita e cromita; C) Mapa da distribuição dos elementos analisados por varredura no MEV. Nas imagens são destacados cristais de: troilita, kamacita e taenita. *Figure 7. Images of textures presented by opaque minerals. A) Fe-Ni alloy and troilite; (B) Troilite and cromite; (C) Elemental mapping by scanning electron microscopy. Crystals of troilite, kamacite and taenite outstanding in the image.*

Ferro-Níquel metálico: Cromita

Cromita (FeCr_2O_4) é um mineral acessório muito comum em condritos, apresentando-se no meteorito Rio do Pires em cristais de formato irregular, sem fraturas ou deformações planares visíveis. Seu conteúdo médio de Cr chega a 57,8% (Fig. 7B).

Ferro-Níquel metálico: Fosfatos

Fosfatos de cálcio como a cloroapatita e merrillita – quando presentes em meteoritos condritos e acondritos – são potencialmente elegíveis para estudos geocronológicos baseados no sistema U-Pb. No meteorito Rio do Pires foram identificados cristais de whitlockita (merrillita) com a seguinte composição básica (teores em peso): CaO 44,03%, P_2O_5 41,25%, MgO 4,26% e Na_2O 2,56% (~6 pontos analisados por EDS-MEV; Fig. 5A e B).

5 Discussão dos resultados

Os estudos aqui apresentados ampliam o conhecimento sobre o condrito Rio do Pires e confirmam sua classificação.

A textura, pobre em cóndrulos bem definidos, e o percentual da molécula da fayalita nos cristais de olivina (Fa_{25}) são características dos meteoritos do grupo L. A existência de grãos de feldspatos maiores que 50 μm e a concentração de Co na kamacita (0,88%), permitem sub-classificar Rio do Pires como L6, de acordo com os critérios de Van Schmus & Wood (1967), ratificando assim a classificação prévia realizada quando este condrito foi registrado no *Meteoritical Bulletin* (Wlotzka, 1994).

5.1 Efeitos do choque e metamorfismo

Stöffler *et al.* (1991) defenderam que os cristais de plagioclásio nos condritos ordinários preservam evidências dos efeitos de choque. De acordo com estes autores, um choque de baixa intensidade resulta em extinção ondulatória; feições de deformação planar (PDFs) e isotropização parcial ocorrem em choques de intensidade moderada; e a completa transformação em vidro

diaplético (maskelinita) acontece quando a rocha é submetida a choques de graus mais elevados.

A estrutura interna do meteorito Rio do Pires, observada com lupa em amostra de mão serrada, permite visualizar diversos veios (Fig. 2B), os quais são indicadores de choque metamórfico decorrente de impacto sofrido no espaço. Os veios de choque observados no meteorito Rio do Pires são muito finos, retilíneos e simples, similares a fraturas, e comparáveis aos descritos no condrito Suizhou por Xie & Chen (2015).

Alguns outros efeitos sugestivos de choque metamórfico (Stöffler *et al.*, 1991; Rubin 1997) são encontrados nos cristais de olivina e plagioclásio do meteorito Rio do Pires. Fraturas irregulares, mosaicismo e extinção ondulatória, tais como os visualizados, são parâmetros indicativos de choque de grau moderado, e classificariam meteorito Rio do Pires entre S3 e S4 na escala de Stöffler *et al.* (1991) conforme quadro 1. Contudo, a presença de veios de choque e maskelinita – um vidro proveniente da fusão do plagioclásio sob alta pressão – elevam o grau de choque de S3-S4 para S5, sinalizando que o mesmo foi submetido a condições de alta pressão e temperatura, as quais podem ter alcançado valores entre 45-55 GPa e 600-850°C.

A classificação baseada nos dados obtidos neste trabalho difere daquela proposta por Brearley (Wlotzka, 1994), que atribui grau de choque S6 ao Rio do Pires nas informações preliminares prestadas ao *Meteoritical Bulletin* para registro do meteorito. Essa nova proposição, ao incluir a existência de múltiplos veios de fusão como fator determinante para a classificação entre S4 e S5, complementa os resultados de Antonello & Zucolotto (2001), que sugeriram grau de choque entre S3 e S4.

5.2. Efeitos do intemperismo terrestre

O meteorito Rio do Pires provavelmente foi coletado pouco tempo após a queda, haja vista apresentar baixo grau de intemperismo (Quadro 2) de acordo com os critérios da escala de Wlotzka (1993).

A superfície de corte do meteorito exhibe pontos de oxidação da liga Fe-Ni, com ocorrência em maior intensidade nas zonas adjacentes aos

Quadro 1. Graus progressivos de metamorfismo de impacto em condritos ordinários, segundo Stöffler *et al.* (1991).
 Chart 1. Progressive degrees of impact metamorphism in ordinary chondrites Stöffler *et al.* (1991).

Grau de Choque	Efeitos resultantes do pico de equilíbrio da pressão de choque em cristais de		Efeitos resultantes da mobilização local da T-P	Pressão do Impacto (Gpa)	Aumento Temperatura Pós-Choque (°C)
	Olivina	Plagioclásio			
S1 Sem choque	Extinção ótica bem nítida e definida, fraturas irregulares		Nenhum	<4-5	10-20
S2 Choque Muito Fraco	Extinção ótica ondulatória, fraturas irregulares		Nenhum	5-10	20-50
S3 Choque Fraco	Feições planares, extinção ondulatória, fraturas irregulares	Extinção ondulatória	Veios de choque opacos, formação incipiente de bolsões de fusão, algumas vezes interconectados	15-20	100-150
S4 Choque Moderado	Mosaicismo fraco, fraturas planares	Extinção ondulatória, isotropismo parcial, feições de deformação	Bolsões de fusão, veios de fusão interconectados, veios de choque opacos	30-35	250-350
S5 Choque Forte	Mosaicismo forte, fraturas planares + feições de deformações planares	Maskelinita	Formação de bolsões de fusão pervasivos	45-55	600-850
S6 Choque Muito Forte	Efeitos restritos a regiões localizadas no interior ou próximo a zonas fundidas		Formação de bolsões de fusão pervasivos	75-90	1500-1750
	Recristalização em estado sólido e manchas, ringwoodita, fusão	Fusão por choque (vidro normal)			
Choque de Fusão	Fusão total da rocha (rochas fundidas por impacto e brechas de fusão)				

Quadro 2. Graus progressivos de intemperismo em condritos ordinários (Wlotzka, 1993).
 Chart 2. Progressive weathering degrees in ordinary chondrites (Wlotzka, 1993).

Graus de Intemperismo	Feições Observadas (em lâmina delgado-polida sob microscópio petrográfico)
W0	Não são visíveis sinais de oxidação no metal ou sulfeto. Uma mancha de limonita pode estar visível sob luz transmitida. Quedas recentes usualmente são desse grau de intemperismo, embora algumas possam ser classificadas como W1.
W1	Pequenas bordas de óxidos em volta do metal e troilita; pequenos veios de óxidos.
W2	Oxidação moderada do metal, cerca de 20-60% sendo afetado.
W3	Oxidação intensa do metal e sulfeto, 60-95% sendo substituídos.
W4	Completa oxidação (>95%) do metal e troilita, mas não há alteração nos silicatos.
W5	Início de alteração de silicatos máficos, principalmente ao longo de fissuras.
W6	Substituição massiva de silicatos por minerais argilosos e óxidos.

veios de choque, contudo sem afetar a kamacita. Os óxidos formados percolam as fraturas dos minerais, revelando-se sob a forma de manchas de tons amarelo-ocre que ocupam menos de 10% do volume total do meteorito, características típicas do estágio W1 – ligeiramente intemperizado – em uma escala cujo limite inferior é W0 e o superior W6.

6 Conclusões

Os recentes avanços tecnológicos e instrumentais permitem reanalisar amostras de meteoritos de maneira não destrutiva, proporcionando a obtenção de imagens de alta resolução e análises químicas pontuais de melhor precisão e avaliar fases minerais diminutas e de menor expressão modal, bem como feições submicroscópicas, tais como os veios de impacto. As análises quantitativas e semi-quantitativas aqui realizadas por EPMA e EDS, bem como as determinações modais realizadas nos estudos petrográficos, confirmam que o espécime de meteorito Rio do Pires estudado é um condrito ordinário do tipo petrológico L6, tendo como minerais formadores do meteorito cristais de olivina rica na molécula de forsterita, ortopiroxênio enstatita e oligoclásio. Os cristais de olivina, enstatita e oligoclásio perfazem cerca de 85% em volume do meteorito. Os cristais de olivina e enstatita estão majoritariamente fragmentados, formando texturas em mosaico, enquanto os cristais de plagioclásio foram parcial ou totalmente transformados em maskelinita.

Os minerais de Fe-Ni (kamacita, taenita e plessita), troilita e fosfatos (cloroapatita, merrilita) são os acessórios mais comuns neste condrito. Cromita ocorre em pequenas quantidades. Por outro lado, a identificação do fosfato whitlockita (merrilita) entre as fases minerais dessa rocha pode viabilizar estudos posteriores para a determinação da idade de formação do corpo parental através do sistema cronológico U-Pb.

Várias texturas observadas são características de metamorfismo de impacto. Além disto, o metamorfismo térmico alterou significativamente o condrito Rio do Pires textural e composicionalmente, levando à recristalização dos côndrulos, com perda de nitidez das bordas e homogeneiza-

ção dos minerais dos côndrulos e matriz marcada pela ausência de zoneamentos químicos significativos.

Brearley propôs para o condrito Rio do Pires o grau de choque 6 (Wlotzka, 1994). Contudo, devido às texturas observadas em cristais de olivina e plagioclásio, a formação da maskelinita, o fraco mosaicismo, e a presença de fraturas planares, somadas à ausência de ringwoodita e majorita levam a advogar para esta rocha um grau de choque S4-S5, reforçando a sugestão de Antonello & Zucolotto (2001), que propuseram um grau de choque mais fraco que o originalmente adotado no processo de registro desse meteorito.

A presença de veios de choque, em associação com as feições observadas nos cristais de olivina e enstatita, são evidências das colisões que o corpo parental sofreu em tempos muito anteriores à queda dessa amostra na Terra.

Agradecimentos. Os autores expressam aqui seus agradecimentos a Umberto Cordani e Júlio Mendes, cujos comentários muito enriqueceram a versão final deste manuscrito. Agradecem também aos técnicos e pesquisadores do Labsonda da UFRJ, Laboratório Multiusuário da UFS, Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica (LAMUME) do IF-UFBA, Museu Nacional, Museu Geológico da Bahia, e ao Laboratório de Preparação e Análise de Amostras do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-Salvador) pela preparação de amostras e análises realizadas. Este trabalho conta com recursos dos projetos GeoLogar: Ciências da Terra para a Sociedade (Processos 559013/2009-4 do CNPq e TO: PES 0056/2011 da FAPESB). Débora Rios e Herbet Conceição agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa. Murilo Gomes agradece ao SISBIC-UFBA pela oportunidade de desenvolver estágio de iniciação científica como aluno voluntário.

Referências bibliográficas

- Amelin Y., Krot A.N., Hutcheon I.D. & Ulyanov A.A. 2002. Lead isotopic ages of chondrules and calcium-aluminum-rich inclusions. *Science*, 297:1678-1683.
- Antonello, L.L. & Zucolotto, M.E. 2001. Mineralogy

- and petrography of the L6 chondrite Rio do Pires, Brazil. *Acta Microscopica*, 3: 234-234.
- Chen, M. & El Goresy, A. 2000. The nature of maskelynite in shocked meteorites: Not diaplectic glass but a glass quenched from shock-induced dense melt at high pressures. *Earth and Planetary Science Letters*, v.179: 489-502.
- Buchwald, V.F. 1975. Handbook of iron meteorites: Their history, distribution, composition, and structure. Berkeley, University of California Press. Vols. 1418 p.
- Grossman, J. 2017. Meteoritical Bulletin Database. Disponível em: <http://www.lpi.usra.edu/meteor/index.php>. Acesso em: 13 jan. 2017.
- Hewins, R.H & Connolly Jr., H.C. 1996. Peak temperatures of flash-melted chondrules. In: Hewins, R. H. & Scott, E. (Eds). *Chondrules and the protoplanetary disk*. Cambridge, Cambridge University Press, p. 197-204.
- Hutchison, R. 2004. Meteorites: a petrologic, chemical and isotopic synthesis. Cambridge, Cambridge University Press,. 520p.
- Krot, A.N., Keil, K., Goodrich, C. A., Scott, R.D. & Weissberg, N.K. 2005. Classification of meteorites, In: Holland, H.D. & Turekian, K.K. (Eds.) *Meteorites, comets and planets: Treatise of Geochemistry*. Elsevier-Pergamon, p. 83-128.
- Marvin, U.B. 2001. The fall at Albareto, 1766: Described as volcanic by Domenico Troili. *Meteoritics & Planetary Science*, 36(S9): A123.
- McSween Jr., H. Y., Lauretta, D. S. & Leshin, L. A. 2006. Recent Advances in Meteoritics and Cosmochemistry, In: Lauretta, D.S. & McSween Jr., H.Y. (Eds.) *Meteorites and the Early Solar System II*, Tucson, The University of Arizona, p. 53-66.
- Messenger, S., Sandford, S. & Brownlee, D. 2006. The Population of Starting Materials Available for Solar System Construction, In: Lauretta, D.S & McSween Jr., H.Y. (Eds.) *Meteorites and the Early Solar System II*, Tucson, The University of Arizona, p. 187-208.
- National Institutes of Health. 2013. *Application ImageJ*. disponível em <https://imagej.nih.gov/ij/>
- Oshtrakh, M.I., Petrova, E.V., Grokhovsky, V.I. & Semionkin, V.A. 2008. A study of ordinary chondrites by Mössbauer spectroscopy with high-velocity resolution. *Meteoritics & Planetary Science*, 43: 941-958.
- Rubin, A.E. 1997. Mineralogy of Meteorite Groups. *Meteoritics & Planetary Science* 32: 231-247.
- Stöffler, D., Keil, K. & Scott E.R.D. 1991. Shock metamorphism of ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 3845-3867.
- Troili, D. 1766. Regionamento della caduta di un sasso. Modena,. Bartolomeo Soliani Stamp, 43p.
- Van Schmus W.R. & Wood, J.A. 1967. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31: 747-765.
- Weisberg, M.K., Smith, C., Benedix, G., Herds, D.K., Righter, K., Haack, H., Yamaguchi, A., Righter, K., Haack, H. Yamaguchi, A., Y., Aoudjehane, H.C. & Grossman, J.N. 2009. The Meteoritical Bulletin, 96. *Meteoritics and Planetary Science*, 44(9): 1365-1397.
- Wlotzka, F. 1993. A weathering scale for the ordinary chondrites. *Meteoritics*, 28(3): 460-460
- Wlotzka, F. 1994. Meteoritical Bulletin 77. *Meteoritics*, 29(6): 891-897.
- Xie, X.& Chen, M. 2015. Suizhou meteorite: mineralogy and shock metamorphism. Berlin, Springer-Verlag, 257 p.