

TESE DE DOUTORADO

**“EFEITOS DE INTEMPERISMO EM MATERIAL
EXTRATERRESTRE DE DIFERENTES ÁREAS DO DESERTO DE
ATACAMA, CHILE”.**

Jimmy Munayco Solorzano

Orientadora: Profa. Rosa B. Scorzelli

Co-orientador: Pablo Munayco Solorzano

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Rio de Janeiro, Setembro de 2012.

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	5
<u>CAPÍTULO 1 – O DESERTO DE ATACAMA</u>	<u>7</u>
1.1 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOMORFOLÓGICAS	7
1.2 – OS METEORITOS NO DESERTO DE ATACAMA	8
<u>CAPÍTULO 2 – INTRODUÇÃO AOS METEORITOS</u>	<u>14</u>
2.1 - METEORITOS	14
2.2 - IMPORTÂNCIA DOS METEORITOS	16
2.3 – CLASSIFICAÇÕES DOS METEORITOS	16
2.3.1 – METEORITOS ROCHOSOS	17
A – Tipo petrológico	19
B – Metamorfismo por choque	21
C – Grau de intemperismo terrestre	21
2.3.2 – METEORITOS METÁLICOS	23
2.3.3 – METEORITOS MISTOS	23
2.4 – INTEMPERISMO EM METEORITOS	24
2.4.1 – FLUXO DOS METEORITOS	24
2.4.2 – SUPERFÍCIES DE ACUMULAÇÃO	25
2.4.3 – IDADES TERRESTRES E INTEMPERISMO	27
2.4.4 – MECANISMOS DO INTEMPERISMO EM METEORITOS	28
<u>CAPÍTULO 3 – AS AMOSTRAS</u>	<u>30</u>
3.1 – DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	30
3.1.1 – ÁREAS DE RECUPERAÇÃO	30
3.1.2 – GRUPO QUÍMICO	31
3.1.3 – DISTRIBUIÇÃO DE MASSAS	37
3.1.4 – ESTADO DE CHOQUE	37
3.1.5 – GRAU DE INTEMPERISMO	38
3.1.6 – SUSCEPTIBILIDADE	39
3.1.7 – IDADES TERRESTRES	39
<u>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS</u>	<u>40</u>
4.1 – ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER	40
4.1.1 – DETALHES EXPERIMENTAIS	40

4.1.2 – DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DO “ABSORVEDOR IDEAL”	40
4.1.3 – TÉCNICA EMPREGADA NA ANÁLISE DOS ESPECTROS MÖSSBAUER	41
4.1.4 – ESPECTROS MÖSSBAUER DE METEORITOS INTEMPERIZADOS	43
4.2 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	100
4.2.1 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X TRADICIONAL (DRX-T)	101
4.2.2 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X COM RADIAÇÃO SÍNCROTRON (DRX-RS)	101
4.3 – SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA	121
4.4 – MICROSCOPIA ÓPTICA.	123
<u>CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	<u>127</u>
5.1 – INTEMPERISMO DAS FASES PRIMÁRIAS.	127
5.2 – PRODUTOS DE OXIDAÇÃO	131
5.3 – DIFERENÇAS NA TAXA DE INTEMPERISMO DAS DIFERENTES ÁREAS.	134
5.4 – ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER VS DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	136
5.5 – SUSCEPTIBILIDADE VS OXIDAÇÃO	139
<u>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES</u>	<u>141</u>
REFERÊNCIAS	143
APÊNDICE A – ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER	A-1
APÊNDICE B – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	B-1
APÊNDICE C – RADIAÇÃO SÍNCROTRON	C-1
APÊNDICE D – P ETROGRAFIA	D-1

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 - Mapa do deserto de Atacama mostrando as diferentes regiões geomorfológicas do deserto de Atacama (adaptado de Muñoz et al. (2007)).</i>	12
<i>Figura 2.1 – Mapa das regiões desérticas do mundo com base nas taxas de precipitação. (extraído de http://www.mapsofworld.com/world-desert-map.htm).</i>	26
<i>Figura 3.1 – Diagrama Fa vs Fs em mol %, indicando os limites dos grupos químicos H, L e LL.</i>	31
<i>Figura 3.2 - Distribuição de massas dos meteoritos recuperados nas áreas de San Juan, El Médano, Caleta el Cobre e Pampa de Mejillones estudados na presente tese.</i>	37
<i>Figura 3.3 - Estado do choque para as áreas de SJ & OL e PM.</i>	38
<i>Figura 3.4 – Grau de intemperismo para meteoritos recuperados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.</i>	38
<i>Figura 3.5 – Log χ para meteoritos recuperados na áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.</i>	39
<i>Figura 4.1 – Absorção dos espectros Mössbauer em função da concentração de amostra/cm².</i>	41
<i>Figura 4.2 - Espectros Mössbauer para três amostras selecionadas (San Juan 052, El Médano 026, PdM 012) mostrando diferentes graus de intemperismo a) medidos a 300 K, b) medidos a 4,2 K.</i>	45
<i>Figura 4.3 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de San Juan.</i>	47
<i>Figura 4.4 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de El Médano.</i>	56
<i>Figura 4.5 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de Caleta el Cobre.</i>	61
<i>Figura 4.6 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de Pampa de Mejillones.</i>	64
<i>Figura 4.7 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados em Outras Localidades.</i>	66
<i>Figura 4.8 – Difratomogramas de Raios-X medidos utilizando a difração tradicional para meteoritos recuperados na área de SJ.</i>	103
<i>Figure 4.9 – Difratomogramas de Raios-X medidos utilizando a radiação síncrotron para algumas amostras das áreas de: SJ, PM e OL.</i>	116
<i>Figura 4.10 – Histograma de frequências de log χ para meteoritos da área de SJ.</i>	121
<i>Figura 4.11 – Microfotografia para San Juan 006: (a), (b) e (c) mostrando a silicatos, matriz e opacos tomados com luz transmitida, polarizada e refletida. (d), (e) (f), (g), (h) e (i) detalham os côneculos. (j), (k) e (l) detalha os opacos tomados com luz transmitida, polariza e refletida.</i>	124
<i>Figura 4.12 - Microfotografia para San Juan 004: (a), (b) e (c) mostrando os silicatos, matriz e opacos tomados com luz transmitida, polarizada e refletida. (d), (e) e (f) detalha os opacos tomados com luz transmitida, polariza e refletida.</i>	125

<i>Figura 4.13 - Grau de intemperismo estimado por microscopia óptica em função da oxidação estimada pela espectroscopia Mössbauer para meteoritos da área de San Juan.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5.1 – Área espectral dos silicatos ferromagnesianos em função da oxidação total para meteoritos intemperizados coletados das áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 5.2 – Área espectral dos opacos em função da oxidação total para meteoritos intemperizados coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 5.3 – Área espectral da Ol/(Ol + Px) como uma função da oxidação para meteoritos coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM (Ol=olivina, Px=piroxênio).</i>	<i>130</i>
<i>Figura 5.4 – Soma das áreas $[A_{akg} + A_{G(4,2K)} - A_{G(300K)}]$ em função da área do DS-Fe³⁺ para meteoritos coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM. (A linha tracejada é somente uma guia).</i>	<i>131</i>
<i>Figura 5.5 – Área espectral do DS-Fe³⁺ como uma função da oxidação total para meteoritos coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM. (A linha tracejada é somente uma guia).</i>	<i>132</i>
<i>Figura 5.6 – Espectros Mössbauer a 300 K e 4,2 K da fração magnética e não-magnética extraídas do meteorito San Juan 021 mostrando claramente a presença de maghemita.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 5.7 – a) Histograma da frequência de oxidação para as áreas de SJ & OL, EM & CEC e PM, b) separadas por grupo químico H e L/LL.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 5.8 – Comparação dos silicatos, paglioclase, opacos e óxidos de Fe, expressado em % wt, obtidos por DRX-T e DRX-RS.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 5.9 – Comparação dos silicatos, opacos e óxidos de Fe, expressado em % at Fe, obtidos por DRX-RS e Mössbauer.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 5.10– Log da susceptibilidade, para meteoritos coletados na área de SJ, em função de: (a) a oxidação, (b) oxidação – maghemita, (c) conteúdo de metal. A linha tracejada é somente uma guia.</i>	<i>140</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 - Resumo dos critérios para classificar os tipos petrológicos em condritos. (Adaptado de Hutchison (2004)).</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2.2 - Representação dos distintos tipos petrológicos nas diferentes classes de condritos. (Adaptado de Hutchison (2004))</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 2.3 - Esquema de classificação para o metamorfismo por choque em condritos. (Adaptado de Hutchison (2004))</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 2.4 - Características dos diferentes graus de intemperismo em condritos. (Adaptado de Hutchison (2004))</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 3.1 –Lista de Meteoritos recuperados nas diferentes áreas do deserto de Atacama: San Juan, Caleta el Cobre, El Médano, Pampa de Mejillones e Outras Localidades.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 4.1 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de San Juan obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.</i>	<i>67</i>

Tabela 4.2 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de El Médano obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.....	75
Tabela 4.3 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de Caleta el Cobre obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.....	83
Tabela 4.4 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de Pampa de Mejillones obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.....	87
Tabela 4.5 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados em Outras Localidades obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.....	89
Tabela 4.6 – Áreas relativas das fases primarias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de San Juan obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.....	91
Tabela 4.7 – Áreas relativas das fases primarias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de El Médano obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.....	95
Tabela 4.8 – Áreas relativas das fases primarias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de Caleta el Cobre obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.....	97
Tabela 4.9 – Áreas relativas das fases primarias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de Pampa de Mejillones obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.....	98
Tabela 4.10 – Áreas relativas das fases primarias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas em Outras Localidades obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.....	99
Tabela 4.11 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % wt, a partir dos difratogramas obtidos por DRX-T para meteoritos recuperados na área de SJ.....	112
Tabela 4.12 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % at. Fe, a partir dos difratogramas obtidos por DRX-T para meteoritos recuperados na área de SJ.....	114
Tabela 4.13 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % wt, a partir dos difratogramas obtidos por DRX-RS para algumas amostras das áreas de: SJ, PM e OL.....	119
Tabela 4.14 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % at. Fe, a partir dos difratogramas obtidas por DRX-RS para algumas amostras das áreas de: SJ, PM e OL.....	120
Tabela 4.15 – Valores de $\log \chi$ de meteoritos coletados na área de SJ e comparada com os valores da tabela 3.1. (χ é dada em $10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$).....	122

Capítulo 1 – O DESERTO DE ATACAMA

1.1 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOMORFOLÓGICAS

O deserto de Atacama está localizado entre a parte ocidental dos Andes centrais e a costa do Pacífico sul, estende-se da fronteira sul do Peru (18 °S) até Copiapó, Chile (30 °S) (Rundell et al., 1991). É uma das mais antigas e inabitáveis localidades desérticas da Terra, abrangendo áreas sob condições semiáridas, áridas e hiperáridas (Dunai et al., 2005). A condição de aridez no deserto de Atacama é produzida, principalmente, pela localização subtropical e pelas frias águas da corrente de Humboldt que flui paralelamente à costa chilena e sul peruana. As baixas temperaturas das águas (~ 8 °C) impedem a evaporação deixando baixa a umidade relativa do ar e evitando assim as precipitações nas áreas costeiras. A aridez em Atacama é intensificada pelo efeito de sombra orográfica (*rain-shadow*) dos Andes que bloqueia a transferência de humidade proveniente da bacia Amazônica (Houston and Hartley, 2003). As condições de aridez/semiaridez (≤ 50 mm chuva/ano) no deserto de Atacama prevalecem ao menos desde o início do período oligoceno (~ 30 Ma) (Dunai et al., 2005) até o final do cretáceo (Hartley et al., 2005). Porém, o início das atuais condições hiperáridas (≤ 5 mm) é motivo de controvérsia. Diversos estudos sugerem que a transição para as atuais condições ocorreu entre 19-13 Ma impulsionada pelo levantamento simultâneo da superfície Andina durante o período mioceno médio. Outros estudos, entretanto, sugerem uma transição anterior (~ 25 Ma) ou posterior (~ 2–1 Ma) associada ao resfriamento global ou regional do oceano. Atualmente, são utilizados vários modelos climáticos para estudar o efeito da elevação da superfície andina e as mudanças da temperatura superficial do mar na hiperaridez do deserto de Atacama. Os trabalhos mostram que o aquecimento

global da superfície do mar, assim como também a elevação da superfície andina não foram fatores importantes para o início da hiperaridez em Atacama, em contraste, um aquecimento regional sobre o sudeste do pacífico aumenta consideravelmente as precipitações em Atacama. Estes resultados sugerem que um reforço da corrente de Humboldt a partir do Mioceno tardio, em particular durante a transição Plioceno/Pleistoceno foi essencial para as atuais condições de hiperaridez (Garreaud et al., 2010).

No deserto de Atacama observam-se principalmente cinco regiões geomorfológicas características, que são: A cordilheira da costa (CC), a depressão central (DC), a cordilheira de Domeyko (CD), a bacia pré-andina (BP) e os Andes ocidentais (AO) (Muñoz et al., 2007). Estas regiões, indicadas na figura 1.1, apresentam diferentes condições climáticas que podem ser áridas, semiáridas e hiperáridas dependendo da sua posição geográfica. Atualmente, as precipitações regionais em Atacama são controladas pelas chuvas nos Andes (> 2800 m) e pela influência da neblina costeira (< 1000 m), que em condições topologicamente favoráveis pode chegar a penetrar até 1 km dentro do continente. As condições hiperáridas são observadas na região DC localizada entre as regiões CC e CD, nesta região as precipitações de 1 mm ou menores são pouco frequentes em longos períodos de tempo, não permitindo a presença de plantas vasculares, só existindo alguns microrganismos. A região CP está localizada no lado oriental a uma altitude de ~ 3000m, caracterizada por constantes alterações nas condições climáticas, apresentando essencialmente condições semiáridas. As condições de aridez são observadas na margem ocidental, especialmente, em toda a região CC, onde ocasionalmente chove no inverno e sofre a constante influencia da neblina do mar. Em Atacama são abundantes os minerais salinos como nitratos, percloratos, e iodatos. Estes minerais geralmente são o reflexo da extrema aridez e concentram-se principalmente na região PB e em alguns locais das regiões CD e CC.

1.2 – OS METEORITOS NO DESERTO DE ATACAMA

Em regiões com condições áridas o intemperismo ocorre em taxas lentas o que permite o acúmulo e preservação de meteoritos em relação a outras regiões

sob a terra, como consequência estas regiões, chamadas de desertos quentes, são locais potenciais para a procura e recuperação de meteoritos. Nos desertos quentes são recuperados ~ 25% do número total de meteoritos conhecidos sendo a segunda fonte depois da Antártica que proporciona ~ 70% do total. Milhares de meteoritos foram recuperados do deserto do Saara, da península Arábica, da Austrália e dos Estados Unidos. Contrariamente, só alguns meteoritos tem sido recuperados nos desertos da América do sul, como o deserto de Atacama. Pelas características climáticas e geomorfológicas mencionadas na seção 1.1 o deserto de Atacama apresenta condições potencialmente favoráveis para a preservação e acumulação de meteoritos. A precipitação média anual em Atacama é muito mais baixa do que outros desertos quentes onde foram recuperados um grande número de meteoritos, por exemplo, as cidades de Iquique, Antofagasta e Copiapó tem precipitações médias anuais de 0,5, 1,7 e 12 mm, respectivamente (dados obtidos da direção de meteorologia de Chile, ver a Figura 1 para localizar os nomes das cidades mencionadas). Enquanto a precipitação média anual na área de Dar al Gani na Líbia é de 10–20 mm, 20–40 na área de Dhofar em Omã e cerca de 250 mm na Nullarbor, na Austrália. As diferenças nas características climáticas e geomorfológicas do Atacama em relação a outros desertos quentes do mundo, fazem do Atacama um dos lugares mais interessantes do mundo para procura e recuperação de meteoritos. No entanto, até há pouco tempo apenas só 64 meteoritos foram recuperados no deserto de Atacama, dos quais 41 são do tipo metálico. O baixo número de meteoritos rochosos encontrados no Atacama representa uma distribuição anormal de meteoritos em áreas desérticas, tendo em conta que aproximadamente 80% dos meteoritos que caem na superfície da terra correspondem ao tipo rochoso. Há alguns anos atrás, a área mais produtiva para a recuperação de meteoritos era a península de Mejillones, localizada na região CC (< 150 metros sobre o nível do mar (msnm)) onde foram achados 12 diferentes meteoritos, dos quais oito foram encontrados espalhados em uma área de ~ 5 km². Em quase todos os casos, as buscas foram realizadas com jipes e motos e somente em alguns casos especiais, a pé, o que justifica o baixo número de amostras por Km². Outra área onde dois meteoritos foram recolhidos foi a área chamada de La Yesera, que têm as mesmas condições climáticas de Pampa de Mejillones.

Recentemente, foram realizadas expedições de busca de novos meteoritos, em algumas áreas do deserto de Atacama, pelo *Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement* (CEREGE) em colaboração com a Universidade do Chile. Como resultado 60 novos meteoritos foram recuperados na área de San Juan (expedições de 2007, 2008, 2009, 2010), 41 meteoritos na área de El Medano (2010), 19 meteoritos na área de La Caleta de cobre (2010) e 3 meteoritos na área de Pampa de Mejillones (2006). Na figura 1 pode-se observar a localização destas novas áreas de recuperação de meteoritos. A área San Juan está localizada na região DC, enquanto as áreas de Pampa de Mejillones, La Caleta El Cobre e El Médano, estão localizadas na região CC do deserto de Atacama.

Estas áreas localizadas na região CC, Pampa de Mejillones encontram-se debaixo dos 150 msnm enquanto Caleta el Cobre e El Médano encontra-se a ~2000 msnm com precipitações anuais de menos de 2 mm. Estas áreas têm características comuns e estão localizadas em lugares chamados de "pampas", que são vastas planícies de terra. As superfícies, são caracterizadas pela presença de rochas intemperizadas de formas arredondadas e semi-angulares, e quantidades variáveis de iodo e areia. A composição mineralógica das camadas superficiais é caracterizada pela presença de gipsita, halita, calcita, anidrido e nitrato de sódio (conhecido também como salitre).

A área de San Juan está localizada a cerca de 1700 msnm na região DC do deserto de Atacama e com precipitações anuais de menos de 0,5 mm. A precipitação máxima é de 34 mm, e apenas 4 anos com precipitação acima de 20 mm e 14 anos com precipitação abaixo de 2 mm. Os baixos índices pluviométricos também são acompanhados por uma baixa umidade. Atualmente, San Juan não é afetada pelo sistema fluvial que é ativado esporadicamente devido às precipitações nos Andes. A superfície apresenta um declive suave e uniforme de 1.5° , com uma fina camada de areia (~1cm) encontrada abaixo das rocas e cascalhos da superfície. O "caliche", que se encontra imediatamente abaixo da areia, é composto principalmente de gipsita e anidrita. Os cascalhos (seixos) sobre a superfície estão constituídos principalmente por andesita. A datação de algumas amostras de seixos de quartzo desta área indica uma idade da superfície de ~1,5 Ma.

Em sua maioria os meteoritos recuperados nas expedições realizadas pela Universidade do Chile e CEREGE são do tipo rochoso, especificamente, condritos ordinários. Os meteoritos recuperados na área de Pampa de Mejillones são preferencialmente do tipo L (baixo conteúdo de Fe), entretanto, os recuperados nas outras regiões são aleatoriamente distribuídos nos tipos L, H (alto conteúdo de Fe). A alta frequência de meteoritos do tipo L recuperados em Pampa de Mejillones é interpretada como uma elevada resistência deste tipo de meteoritos ao intemperismo em relação aos meteoritos do tipo H. Nas últimas expedições, os meteoritos rochosos foram recuperados com a frequência esperada em contraste com expedições passadas nas quais a maior quantidade de meteoritos recuperados é do tipo metálico ou misto. O fato que meteoritos rochosos estejam representados com a frequência normal somente em amostras recuperadas recentemente e em locais específicos pode ser explicado pelo recente interesse do Chile pela procura e recuperação de meteoritos, ou pelo fato de apenas pequenos grupos de acadêmicos e colecionadores particulares serem os participantes da identificação e exploração de novas áreas potenciais para a recuperação de meteoritos. No passado, a escolha de novas áreas favoráveis para a procura de meteoritos foi baseada em lugares onde outros meteoritos tinham sido recuperados e nas condições geomorfológicas favoráveis, enquanto, que outros fatores não foram considerados.

Os meteoritos recuperados no Deserto de Atacama têm um grau de intemperismo variável dependendo da localidade onde são recuperados. As alterações nos meteoritos são bem conhecidas e incluem alterações químicas e mineralógicas devido ao intemperismo dos minerais que contém ferro, estes minerais são progressivamente alterados para formar argilas e óxidos / hidróxidos de Fe.

É importante mencionar que a presença de sais na superfície do Atacama, é um agente importante nos processos de intemperismo e têm um papel crucial no intemperismo de meteoritos, e torna-se mais agressiva na presença de água. Portanto, espera-se que a distribuição de frequência de meteoritos na região DC seja controlada pela variação/disponibilidade destes dois fatores (sais e água). Em locais onde tanto sais e água (subterrânea ou da neblina) estão presentes espera-se uma área pobre para a recuperação de meteoritos.

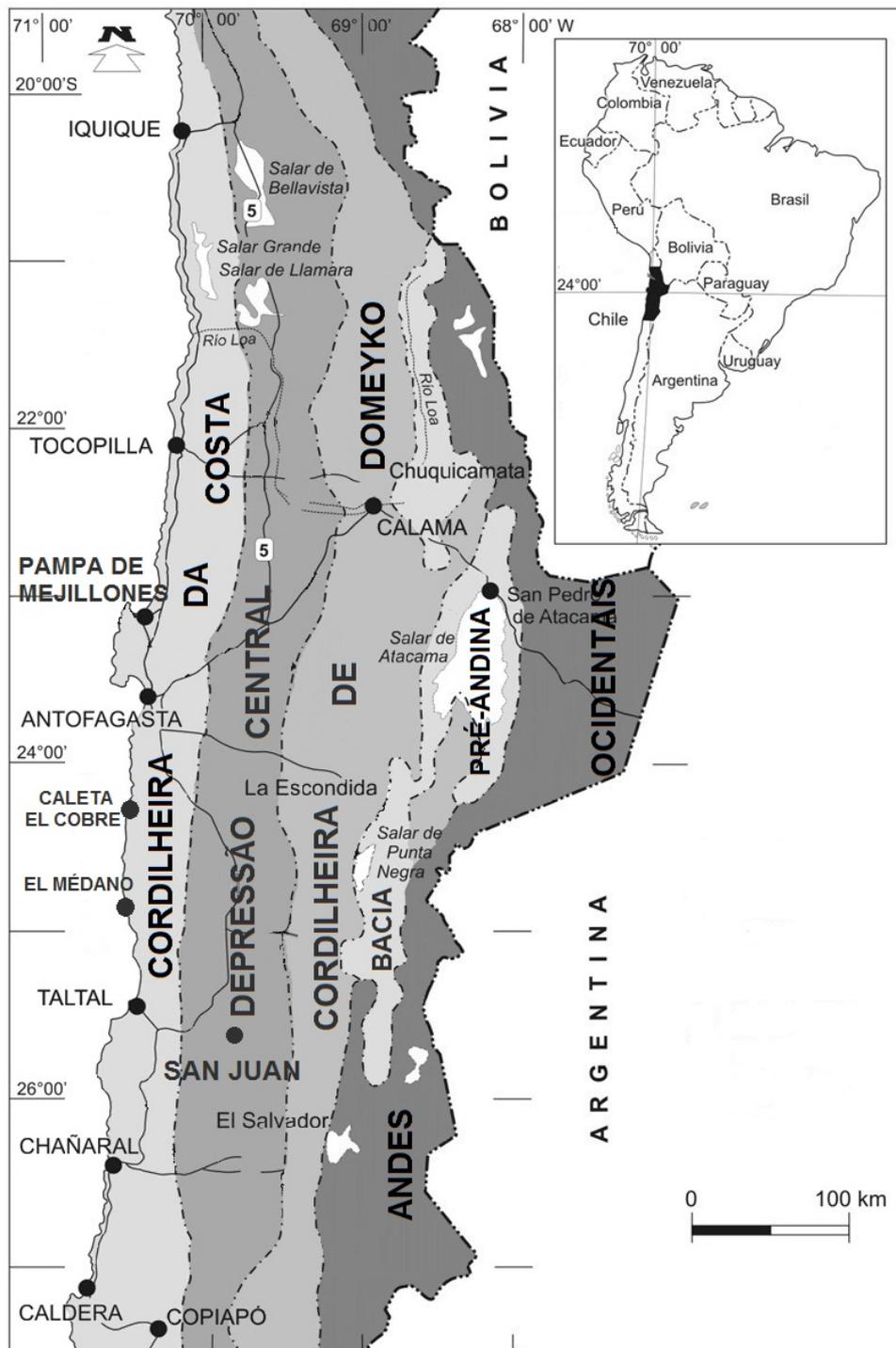


Figura 1.1 - Mapa do deserto de Atacama mostrando as diferentes regiões geomorfológicas do deserto de Atacama (adaptado de Muñoz et al. (2007)).

Em contraste, em outras áreas espera-se uma maior produtividade, mas em quantidades de acordo com as condições locais. Por exemplo, meteoritos metálicos que foram recuperados perto dos salares são geralmente muito

intemperizados e apenas alguns meteoritos rochosos são encontrados nestas localidades. O que pode ser explicado pela disponibilidade de água perto dos salares (subterrânea ou da neblina), criando um ambiente altamente agressivo na superfície que rapidamente intemperiza e destrói os meteoritos rochosos.

O cloreto de sódio e nitrato de sódio tem um efeito maior no processo de intemperismo do que os sulfatos (gipsita e anidrido). Como os sulfatos são os principais sais nos regolitos do Atacama e considerando que o cloreto e nitrato de sódio são restritos para pontos específicos, espera-se que a distribuição de meteoritos no deserto de Atacama seja diretamente relacionada à ação dos sulfatos-água no processo de intemperismo.

Outros desertos “quentes” onde foram recuperados uma grande quantidade de meteoritos, tem uma complexa história paleoclimática em relação ao deserto de Atacama. Por exemplo, as regiões de Roosevelt County, Saara, Nullarbor tem experimentado severos ciclos de umidade/aridez nos últimos 40 ka (Bland et al., 1998). A estabilidade das superfícies destas regiões é relativamente nova quando comparadas com Atacama. A região de Nullarbor, por exemplo, com 30 ka de estabilidade é uma das mais antigas superfícies de acumulação de meteoritos (Bland et al., 2000).

Em conclusão: As dimensões do deserto de Atacama, as permanentes condições de hiperaridez, a estabilidade da superfície, a extrema idade terrestre de algumas amostras ~ 1.5 Ma, a ampla distribuição de meteoritos e os interessantes processos mineralógicos envolvidos no “controle” dos padrões de distribuição de meteoritos fazem do deserto de Atacama um importante deserto quente para a acumulação e recuperação de meteoritos.

O baixo número de meteoritos recuperados em Atacama versus o número de meteoritos recuperados em outros desertos quentes refletem o pequeno número de expedições de procura de meteoritos. O recente incremento na recuperação de meteoritos coletados principalmente nas últimas expedições realizadas pela Universidade do Chile e o CEREGE é o resultado de uma procura sistemática.

Capítulo 2 – INTRODUÇÃO AOS METEORITOS

2.1 - METEORITOS

O termo meteoro vem do grego *meteoron*, que significa fenômeno no céu. É usado para descrever a faixa de luz produzida quando matéria do sistema solar cai na atmosfera terrestre criando incandescência temporária resultante da fricção com a atmosfera. Isto ocorre tipicamente a alturas de 80 a 110 quilômetros acima da superfície da Terra. O termo também é usado livremente com a palavra meteoróide referindo-se à própria partícula sem relação com o fenômeno que produz ao entrar na atmosfera terrestre. Um meteoróide é a matéria que gira em volta do Sol ou qualquer objeto do espaço interplanetário que é pequeno demais para ser chamado asteróide ou cometa. Partículas ainda menores são chamadas micrometeoróides ou grãos de poeira cósmica, que inclui material interestelar que ocasionalmente entra no nosso sistema solar. Os corpos sólidos de material extraterrestre que penetram na atmosfera e alcançam a terra são chamados de meteoritos, os quais podem ser fragmentos de asteróides, do planeta Marte ou da lua. A evidência disponível sugere que os meteoritos se originaram dentro do Sistema Solar, e mais parecem ser fragmentos de asteróides que estão na órbita Solar entre Marte e Júpiter (Wason and Wetherill, 1979). Os meteoritos têm idades de formação extremamente antigas (~ 4,55 Ga) e muitos se mantiveram essencialmente inalterados desde a sua formação. Como amostras de planetas menores, os meteoritos são uma única fonte de informação sobre uma grande variedade de eventos que ocorreram na história do sistema solar.

Os meteoritos que são recuperados após queda observada são chamados de “caídos”; os meteoritos cuja queda não foi presenciada são chamados de “achados”. Os meteoritos têm seus nomes baseados na localidade ou

característica geográfica perto do seu ponto de recuperação (por exemplo, o meteorito Allende, é um meteorito caído perto do povoado de Allende, Chihuahua, México). Os meteoritos que são recuperados na Antártica, nos desertos da Austrália e norte da África recebem um nome seguido de números, considerando que numerosos meteoritos são recuperados na mesma localidade. Mais de 1.7×10^4 meteoritos são atualmente conhecidos; este número cresce rapidamente devido ao descobrimento de novas áreas nos desertos frios da Antártica e quentes com grandes concentrações de meteoritos.

Os meteoritos são definidos tradicionalmente como um objeto sólido que cae na terra vindo do espaço. Porém esta definição não é a mais adequada. Em décadas recentes objetos fabricados, pelo homem, têm caído do espaço na superfície da terra enquadrando-se nessa definição de meteoritos, alguns meteoritos foram também identificados como originários de lua e marte e pequenos objetos interplanetários têm impactado com naves espaciais e chegado à superfície da terra sem enquadrar-se na definição de meteorito. Devido a esses fatores e outras complicações, Rubin and Grossman (2010), propõem novas definições para meteoritos e meteoróides, que citamos a seguir.

Meteoróide: Um objeto sólido natural de 10 μm até 1 m de tamanho movimentando-se no espaço interplanetário. Os Meteoróides podem ser objetos primários ou derivados da fragmentação de grandes corpos celestiais e não são somente limitados a asteróides.

Micrometeoróide: Um meteoróide com tamanho de 10 μm até 2 mm

Meteorito: Um objeto sólido natural com um tamanho maior que 10 μm , derivado de um corpo celestial, que é transportado por meios naturais do corpo do qual foi formado para uma região fora da influência do domínio gravitacional desse corpo, e depois colide com um corpo natural ou artificial, maior que ele mesmo. Os processos de intemperismo não afetam o status de um objeto como meteorito sempre que tenha ainda algo reconhecível dos seus minerais originais ou da sua estrutura.

Micrometeorito: Um objeto com dimensões de 10 μm e 2 mm.

2.2 – IMPORTÂNCIA DOS METEORITOS

Os meteoritos constituem as rochas mais antigas e primitivas do sistema solar, formados na Nebulosa Solar, juntamente com o Sol e os planetas, há aproximadamente 4550 milhões de anos. Os meteoritos nos ajudam a compreender os diferentes processos de agregação da matéria na nebulosa solar, assim como os mecanismos de formação de planetas. Os meteoritos primitivos nos informam sobre a composição da nebulosa solar, sobre as reações químicas e as forças físicas que foram produzidas e sobre a escala de tempo de todos esses processos. O estudo dos meteoritos pode também fornecer informações sobre a origem da vida na Terra. Alguns possuem matérias orgânicas não derivadas de seres vivos e que podem ter influído na aparição da vida.

Estabelecer a taxa com a qual os meteoritos atingem a superfície da terra é de muita importância para o estudo da evolução orbital dos asteróides e cometas. Assim, como também conhecer mais da história das grandes crateras da lua e outros planetas.

Os meteoritos são um material geológico único, pois caem uniformemente sobre a superfície da terra e possuem composições iniciais semelhantes e idades terrestres bem definidas e podem servir como amostras padrões que atuam como sonda no ambiente da superfície da terra. Os meteoritos podem ser de grande valor para a compreensão de vários aspectos do ambiente terrestre, a partir da restrição de processos geomorfológicos, estabilidade da superfície, e tempo de deflação para quantificar as diferenças na taxa de intemperismo em diferentes regimes climáticos. Eles também podem ser usados para explorar possíveis relações entre o clima e intemperismo das rochas. Além disso, eles oferecem uma nova perspectiva sobre as placas de gelo da Antártida e a resposta às mudanças nas condições climáticas durante os últimos cem mil anos.

2.3 – CLASSIFICAÇÕES DOS METEORITOS

O principal objetivo da classificação dos meteoritos é distribuí-los em grupos de objetos semelhantes que permitam compreender melhor a sua origem e

relações. Uma classificação muito utilizada é a que representa os meteoritos em três grandes grupos, de acordo com a quantidade relativa de silicatos e metais: Os *rochosos* consistem principalmente de silicatos ferromagnesianos e quantidades menores de metais e outros minerais; Os *metálicos* são formados principalmente por ligas Fe-Ni; Os *mistos* contêm proporções quase iguais de metal e silicatos. Esta classificação é amplamente citada na bibliografia. Porém, não contém nenhuma informação dos processos de formação dos meteoritos. Uma classificação alternativa é baseada na composição química e textura dividindo-os em duas grandes categorias, meteoritos condriticos e acondriticos. Os meteoritos ainda são classificados em grupos utilizando um esquema de classificação baseado nos isótopos de oxigênio, química, mineralogia e petrografia. O objetivo deste sistema de classificação é fornecer um nome descritivo para as diversas classes de meteoritos que têm origens semelhantes ou histórias de formação que possam surgir a partir do mesmo asteroide ou corpo planetário, e também revelam possíveis relações genéticas entre as diversas classes. A seguir descreveremos a classificação que representa os meteoritos em três grandes grupos.

2.3.1 – Meteoritos Rochosos

Dentro dos meteoritos rochosos são reconhecidos dois grupos chamados de **condriticos** e **acondriticos**. Os **condriticos** são os meteoritos mais comuns e são considerados exemplos prístinos de matéria do início do sistema solar, apesar de em muitos casos suas propriedades terem-se modificado por metamorfismo térmico ou alterações aquosas. Os condriticos são meteoritos que proporcionam as melhores informações sobre a origem do sistema solar. São as rochas mais antigas cujos componentes foram formados durante o nascimento do sistema solar há 4.567 Ma, e suas abundâncias de elementos não-voláteis são próximas aos da fotosfera solar. Os constituintes mais abundantes dos condriticos são os côndrulos, que são partículas ígneas que cristalizaram rapidamente. Eles são compostos principalmente de olivina e piroxênio, variando de 0,01 a 10 mm de tamanho e contém também ferro e níquel metálico. Alguns côndrulos são de forma esférica ou subesférica (Scott and Krot, 2005). Os condriticos contêm proporções diversas de inclusões

refratárias (0,01 – 10 % vol.), ferro e níquel metálico (0.1 – 70 %), e material da matriz (1 – 80%). As inclusões refratárias não possuem elementos voláteis, e são produtos de processos de alta temperatura. Dois tipos de inclusões refratárias são reconhecidas: inclusões ricas em cálcio e alumínio ou CAIs, e agregados amebóides de olivina. O material da matriz é rico em elementos voláteis, e grãos finos (5 – 10 µm). A matriz tem mineralogia diversa e a maioria são misturas de silicatos hidratados, óxidos, ferro e níquel metálicos, sulfetos, matéria orgânica e grãos pré-solares.

A abundância do Fe em condritos e a distribuição deste elemento entre as fases reduzida (metal + sulfatos) e oxidada (silicatos + óxidos) distingue-os em três grupos principais: os condritos a enstatita (CE), condritos ordinários (CO) e condritos carbonáceos (CC). Os mesmos grupos podem também ser distinguidos em função dos seus elementos refratários (Mg, Al, Ti Ca) para o conteúdo de Si, e as composições isotópicas de oxigênio (Clayton et al., 1976). Os condritos enstatitas (CE) compreendem dois grupos: condritos de alto (EH) e baixo (EL) conteúdo de ferro (Sears et al., 1982). No outro extremo, os condritos carbonáceos (C) são altamente oxidados e ricos em elementos refratários (Mg / Si atômica superiores a 1,05) e contendo pouco ou nenhum ferro metálico. Os condritos carbonáceos são divididos em diferentes tipos: CI, CM, CO e CV CR e CK (Watson, 1974). As letras que designam os grupos referem-se a um condrito típico do grupo: CI (Ivuna-like), CM (Mighei-like), CO (Ornans-like), CR (Renazzo-like), CV (Vigarano-like) e CK (Karoonda-like).

Os condritos ordinários, que são os tipos mais comuns e os mais abundantes materiais extraterrestres disponíveis para estudo e representam 93,5% dos condritos caídos dividem-se em três grupos: H, L, e LL. As letras que designam os grupos referem-se aos teores de ferro: H (alto conteúdo de Fe total), L (baixo conteúdo de Fe total) e LL (baixo conteúdo de Fe metálico e baixo conteúdo de Fe total) (Krot et al., 2005). Estes grupos são intermediários no estado de oxidação e são empobrecidos em elementos refratários em relação ao condritos carbonáceos. São constituídos principalmente de olivina, ortopiroxênio, ligas Fe-Ni e troilita, e menores quantidades de plagioclásio, cromita e clinopiroxênio, diópsido (Rubin, 1997). Os diâmetros dos côneulos são de aproximadamente 0,3 mm (para os tipo H), 0,7 mm (tipo L) e 0,9 mm (tipo LL) (Grossman, 1988). O grupo H contém 25–30% de FeO, o grupo L, 20–

25%, e o grupo LL, 18–20%. A classificação dos condritos ordinários nos três grupos é feita frequentemente em função das composições molares de faialita e forsterita (H: Fa_{16-20} , $Fs_{14,5-18}$; L: Fa_{22-26} , Fs_{19-22} ; LL: Fa_{26-32} , Fs_{22-25}) (Jones, 1998).

O termo acondritos significa ausência de cõndrulos e são provenientes de corpos parentais cuja matéria primordial sofreu diferenciação. Este material, originário da nebulosa que formou o sistema solar e presente nos condritos, sofreu a ação gravitacional ao longo de bilhões de anos dando origem a todos os corpos que conhecemos hoje no sistema solar como o sol, planetas e asteroides. Os acondritos são originários de processos ígneos em corpos parentais originalmente constituídos por condritos. As rochas terrestres são semelhantes aos acondritos, pois também sofreram processos semelhantes durante a formação da Terra que, por sua vez, também teve seu material primordial semelhante aos dos condritos. Os acondritos estão entre os meteoritos rochosos mais raros, porém mais comuns que os condritos carbonáceos e representam ~7 % dos meteoritos que caem na terra. Os acondritos estão divididos em dois grandes grupos: acondritos ricos em cálcio, entre 5 a 25% ou mais (aubritos, diogenitos e ureilitos), e acondritos pobres em cálcio 3% ou menos (eucritos, hawarditos).

Os condritos também podem ter experimentado alteração por processos secundários, como alteração aquosa, metamorfismo térmico e metamorfismo por choque. Além disso, os condritos achados tem sofrido intemperismo pelo tempo de residência na terra. Assim, para descrever um meteorito do tipo condritico é necessário especificar o tipo petrológico, estado de choque, grau de intemperismo. Por exemplo, San Juan 025 é um meteorito recuperado em San Juan no deserto de Atacama no Chile do tipo condrito H5, com estado de choque S3 e grau de intemperismo W2. A seguir são descritos os critérios utilizados para definir esses parâmetros de classificação.

A – Tipo petrológico

Vanschmu and Wood (1967) introduziram um esquema de classificação que fornece um guia para o grau de alteração térmica e aquosa experimentado por um condrito. De acordo com este esquema amplamente utilizado, os condritos

são divididos em tipos petrológicos (ou petrográfico) do 1 ao 6. Do tipo 3 (comumente chamado de não equilibrado) para o 6 (equilibrado) ocorre um aumento do grau de equilíbrio químico e recristalização, provavelmente devido ao metamorfismo térmico.

Tabela 2.1 - Resumo dos critérios para classificar os tipos petrológicos em condritos. (Adaptado de Hutchison (2004)).

Critério	Tipo petrológico					
	1	2	3	4	5	6
Homogeneidade composicional da olivina e piroxênio pobre em Ca		> 5 % de desvio da média		< 5 %	Homogêneo	
Estado estrutural do piroxênio pobre em Ca		Predominantemente monoclinico		> 20 % monoclinico	< 20 % monoclinico	Ortorrômico
Feldspato		Somente alguns grãos primários		Secundário, Grãos < 2 µm	Secundário, Grãos 2 -50 µm	Secundário, Grãos > 50 µm
Vidro nos côndrulos		Alterado, principalmente ausente	Clara, isotrópico, abundância variável	devitrificada, ausente		
Minerais metálicos (máximo % de Ni em peso)		< 20 % Taenita minoritária ou ausente		> 20 % kamacita e taenita em exsolução		
Conteúdo médio do Ni em sulfetos		> 0.5 em peso		< 0.5 em peso		
Matriz	Opaca, grãos finos	Opaca, maioria fina	clástico, parte opaca	Transparente, recristalizada		
Integração côndrulo-matriz	Sem côndrulos	Côndrulos muito bem definidos		Côndrulos bem definidos	Côndrulos diferenciáveis	Côndrulos mal definidos
Carbono (% em peso)	3 - 5	0.8 - 2.6	< 1.5			
Água (% em peso)	18 - 22	2 - 16	0.3 - 3	< 1.5		

O tipo 1 representa maior grau de alteração aquosa em comparação com o tipo 2, baseado na abundância de silicatos hidratados. Os condritos do tipo 3 são considerados os menos modificados por processos secundários. Porém, este esquema não pode ser aplicado a vários condritos do tipo CI e CM que parecem ter experimentado uma alteração aquosa seguida de um metamorfismo térmico e desidratação. Os condritos do tipo 3 ordinários, C, e CV são comumente subdivididos em 10 subtipos (3.0 – 3.9), dos quais 3.0 é o que sofreu menos metamorfismo. A tabela 2.1 e 2.2 apresenta um resumo dos critérios utilizados para definir os tipos petrológicos de 1 – 6.

Tabela 2.2 - Representação dos distintos tipos petrológicos nas diferentes classes de condritos. (Adaptado de Hutchison (2004))

Tipos Petrológicos						
Condritos	Alteração aquosa		3	Metamorfismo térmico		
	1	2		4	5	6
Carbonáceos	C11					
		CM2				
		CR2				
			CV3			
			CO3			
Ordinários				CK4		
			H3	H4	H5	H6
			L3	L4	L5	L6
Enstatita			LL3	LL4	LL5	LL6
			EH3	EH4	EH5	EH6
			EL3	EL4	EL5	EL6
T (°C)	50	<20	400	600	700	750 950

B – Metamorfismo por choque

O grau de metamorfismo por choque (causado por impactos) registrado num condrito é determinado a partir da variedade mineralógica e textura. O sistema de classificação por Stoffler et al. (1991) baseia-se nos efeitos de choque observados na olivina e plagioclásio. Devido ao fato da olivina ser rara em condritos a enstatitas, Rubin et al. (1997) estenderam este esquema de classificação por choque para os ortopiroxênios. Na tabela 2.3 pode-se observar o esquema de classificação para o metamorfismo por choque em condritos.

C – Grau de intemperismo terrestre

O grau de intemperismo terrestre é um parâmetro adicional de classificação comumente aplicado para meteoritos “achados”. Wlotzka (1993) sugeriu estágios progressivos de alteração dos meteoritos, de acordo como são observados em lâminas de seções polidas. Os diferentes graus de intemperismo são nomeados de W1 até W6. Na tabela 2.4 são resumidas as principais características dos diferentes graus de intemperismo.

Tabela 2.3 - Esquema de classificação para o metamorfismo por choque em condritos. (Adaptado de Hutchison (2004))

Estágio de choque	Descrição do choque	<i>Efeito resultante da pressão de choque máxima</i>			Pressão de choque (Gpa)
		Olivina	Plagioclase	Ortopiroxênio	
S1	Sem		Extinção óptica brusca, fraturas irregulares		< 4 - 5
S2	Muito debilmente	Extinção ondulante, fraturas irregulares	Extinção ondulante, fraturas irregulares	Extinção ondulatória, algumas fraturas planares e irregulares	5 - 10
S3	debilmente	Fraturas planares, extinção ondulante, fraturas irregulares	Extinção ondulante	Clinoestatita lameladas em (100), extinção ondulatória, fraturas planares e irregulares	15 - 20
S4	moderado	mosaicismo fraco, fraturas planares	Extinção ondulante, fraturas parcialmente isotrópicas, características de deformação planar		30 - 35
S5	fortemente	Mosaicismo forte, fraturas e deformação planar	Maskelinita		45 - 55
S6	Muito fortemente	Recristalização em estado sólido	Fusão por choque	fusão	75 - 90
	Fusão por choque	Fusão total			

Tabela 2.4 - Características dos diferentes graus de intemperismo em condritos. (Adaptado de Hutchison (2004))

Grau de intemperismo	Características
W0	Nenhuma oxidação visível do metal ou sulfetos
W1	Pequenos traços de óxidos são observados ao redor de os grãos de metal e troilita. Veios pouco oxidadas
W2	Oxidação moderada de ~ 20 - 60 % do metal
W3	Forte oxidação do metal e troilita, 60 - 95 % foi transformado
W4	Completa oxidação do metal e troilita, mas nenhuma oxidação dos silicatos
W5	Início da alteração de silicatos máficos, principalmente ao longo de fissuras
W6	Substituição massiva de silicatos por minerais de argila e óxidos

2.3.2 – Meteoritos Metálicos

Meteoritos metálicos são formados, essencialmente, por ligas de Fe-Ni. O conteúdo de Ni varia entre 4 a 60 % em peso para estes meteoritos, mas a maioria dos meteoritos metálicos tem composições na faixa de 5-12% em peso de Ni. Os meteoritos metálicos são classificados com base na sua estrutura macroscópica em: hexaedritos, octaedritos e ataxitos. Esta classificação é melhor compreendida em termos das relações de fases do sistema Fe-Ni. A elevadas temperaturas (~ 900 °C) a taenita octaédrica é a fase estável de todas as composições. Durante o resfriamento a kamacita é a fase mais estável.

Os meteoritos com um conteúdo de Ni que varia de 5.3 a 5.7 % em peso quase todo o metal converte-se em kamacita e estes meteoritos são chamados de *hexaedritos*. Se o conteúdo de Ni variar de 5.7 a 16 % em peso, tanto a taenita como a kamacita são fases estáveis e a estrutura geral mantém a forma octaédrica, a concentração de kamacita depende do conteúdo de Ni. Para manter o equilíbrio, a kamacita desenvolve lamelas paralelas ao plano octaédrico da taenita, os meteoritos com estas características são designados por *octaedritos*. Os *Ataxitos* são compostos principalmente por intercrescimento de taenita e kamacita e são os meteoritos mais ricos em Ni que se conhecem, com teores deste metal geralmente superiores a 18% (Buchwald, 1977).

2.3.3 – Meteoritos Mistos

Os meteoritos mistos compreendem dois grupos principais chamados de palasitos e mesosideritos. Os palasitos são compostos de proporções aproximadamente iguais de metal (Fe-Ni) e olivina. Enquanto, os mesosideritos são misturas heterogêneas de metal (Fe-Ni) e silicatos (composto por plagioclásio, piroxênio de cálcio e olivina). Em mesosideritos, o metal ocorre frequentemente em forma de fragmentos ou veios, e a proporção pode variar entre 15 e 40%.

2.4 – INTEMPERISMO EM METEORITOS

O intemperismo em meteoritos pode ser considerado como a alteração das fases originais que compõem o meteorito para fases que são mais estáveis na superfície da terra. Prolongados intemperismos podem levar à destruição dos meteoritos. A contaminação e alteração dos meteoritos devido ao ambiente terrestre têm início do instante em que o meteorito ingressa na atmosfera terrestre. Quando chegam à superfície da terra podem acumular-se em regiões áridas, onde o intemperismo químico ocorre a taxas mais lentas que em áreas temperadas ou tropicais podendo, portanto ocorrer acumulação de meteoritos. Estas regiões áridas podem ser os desertos “quentes” ou frios como da Antártica.

Aproximadamente 80% dos meteoritos recolhidos correspondem a meteoritos que foram encontrados muito depois da sua queda (achados) e, portanto, foram expostos ao intemperismo. Os processos de intemperismo deixam uma "impressão digital" terrestre nos meteoritos (“achados”) que podem ajudar na compreensão de vários processos terrestres por duas razões, primeiro a idade terrestre dos meteoritos (ou seja, o tempo que passaram na Terra desde sua chegada) pode ser conhecida através da análise de vários isótopos para fornecer uma cronologia dos acontecimentos. Segundo, a composição inicial (composição química, mineralógica) dos meteoritos antes que ocorra o intemperismo é bem conhecida através da análise de quedas recentes. Portanto, separar os efeitos secundários decorrentes de fatores terrestres é relativamente simples. Como os meteoritos caem quase uniformemente sobre a superfície da terra temos a possibilidade de estudar os processos de intemperismo do mesmo material em ambientes muito diferentes.

2.4.1 – Fluxo dos meteoritos

A quantidade de material extraterrestre que chega à superfície da terra pode ser estimado através das observações da rede de câmaras fotográficas ativadas pelo brilho produzido por um meteoro (fenômeno visual associado à passagem dos meteoritos através da atmosfera terrestre) e da análise de meteoritos recuperados das diferentes regiões de coleta. As redes de câmeras cobrem grandes áreas (10^6 km^2) da superfície da Terra e fornecem estimativas

confiáveis do fluxo anual de meteoritos. A análise estatística destes registros mostra que os meteoritos caem aleatoriamente sob a superfície da terra e só é observada uma ligeira diminuição na taxa de queda perto dos pólos. O fluxo de queda de meteoritos é estimado em 13800 meteoritos anuais e um fluxo de massa anual de 3900 kg (Halliday et al., 1989). Bland et al. (1996) estimam o fluxo de meteoritos a partir de meteoritos acumulados nos últimos 50 ka nas regiões de Roosevelt County, Nullarbor e Saara obtendo um fluxo de massa de 2900 – 7300 kg anuais. O que indicaria que o fluxo não tem mudado significativamente ao longo dos últimos 50 ka.

2.4.2 – Superfícies de acumulação

Existem muitos lugares no mundo com condições favoráveis para a acumulação e preservação de meteoritos. A preservação dos meteoritos depende principalmente das condições climáticas. Em climas temperados e tropicais os meteoritos são destruídos rapidamente pelo intemperismo em uma escala de tempo que é relativamente curta em comparação com a taxa de queda dos meteoritos. No entanto, em climas secos os meteoritos são preservados por milhares, dezenas de milhares, ou como na Antártida, por milhões de anos após a sua queda, devido a que as taxas de intemperismo são relativamente lentas. Na Antártica, os meteoritos sobrevivem por mais tempo devido às condições ambientais relativamente constantes e baixas taxas de intemperismo químico.

Um grande número de meteoritos têm sido recuperados de muitas áreas do mundo. A maior fonte de recuperação de meteoritos é a Antártica com mais de 50.000 meteoritos recuperados, e dos chamados desertos quentes onde mais de 9000 meteoritos já foram recuperados.

As áreas áridas (figura 2.1) mais notáveis do mundo para recuperação de meteoritos são: o Saara (que inclui a Argélia (~500 meteoritos recuperados), a Líbia (> 1270), o Marrocos (> 2000), a Nigéria, e outras localidades do Noroeste da África), Roosevelt County (>100) no Novo México, EUA, a Região Nullarbor da Austrália (>300), e, mais recentemente, o desertos da Península Arábica na Arábia Saudita, o deserto da Namíbia no Sudoeste da África e Oman (> 1100) (Bevan, 2006). Estes números crescem rapidamente devido às

novas expedições que são organizadas por cientistas, entusiastas e colecionadores de meteoritos, especialmente para os desertos do Norte da África, América do Norte, Sul da África e do Oriente Médio (Jull et al., 2010). Na América do Sul, o deserto de Atacama, no Chile, tem se tornado recentemente uma área importante na recuperação de meteoritos. Nos últimos anos o CEREGE em colaboração com a Universidade do Chile tem conduzido expedições a várias localidades do Atacama, especialmente na área de San Juan (ver seção 1.2, Capítulo 1). Para esta área é estimada, em função dos meteoritos recuperados por km², uma densidade de 14–19 meteoritos/km² que representa 1840 g de meteoritos/km² (Gattacceca et al., 2011). Esta concentração de meteoritos é maior que a reportada para outros desertos quentes: Dar al Gani na Líbia (0.1 meteoritos/km²), Região de Nullarbor na Austrália (1 meteoritos/km²), Roosevelt County em Novo México (5 meteoritos/km²). A razão para esta alta concentração de meteoritos é a longa hiperaridez na área de San Juan associado com baixa taxa do intemperismo químico, que é principalmente controlada pela porosidade inicial dos meteoritos.

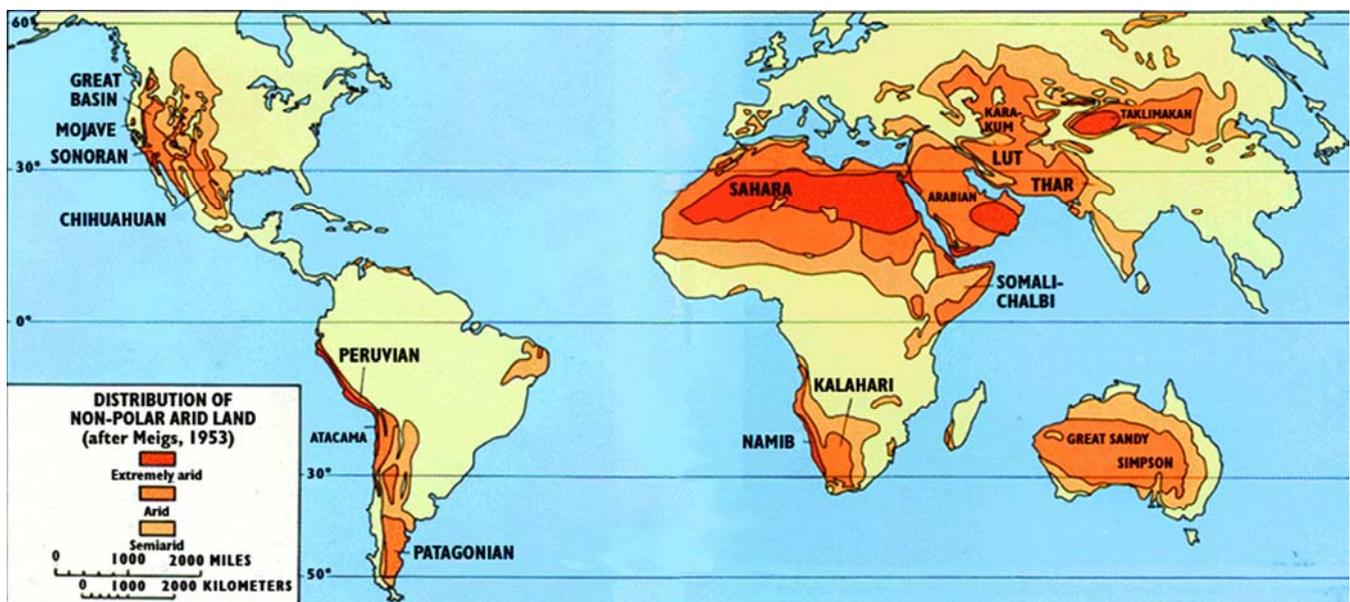


Figura 2.1 – Mapa das regiões desérticas do mundo com base nas taxas de precipitação. (extraído de <http://www.mapsofworld.com/world-desert-map.htm>)

2.4.3 – Idades terrestres e intemperismo

Um grande número de meteoritos que são achados nas áreas desérticas estão quase sempre intemperizados, e com grau variável de intemperismo. O grau e padrão do intemperismo dependem dos parâmetros ambientais em que eles são expostos. Estes parâmetros mudam periodicamente com os ciclos climáticos durante a permanência terrestre dos meteoritos antes de serem recuperados pelos pesquisadores. Para compreender o processo de alteração das fases dos componentes originais dos meteoritos durante o intemperismo é necessário conhecer o tempo de residência na terra, conhecida como a idade terrestre, que é o tempo contado a partir da queda do meteorito na superfície da terra.

Ao longo dos últimos anos uma variedade de métodos têm sido utilizados para determinar as idades terrestres de meteoritos, a maior parte consiste em analisar a abundância de radionuclídeos cosmogênicos produzidas enquanto o meteorito estava no espaço. Quando um meteoróide orbita em torno do sol é bombardeado pela radiação cósmica. Depois de ter caído na terra o meteorito fica protegido desta radiação pela atmosfera e os isótopos instáveis da radiação cósmica começam a decair. Alguns dos isótopos utilizados para datar a idade terrestre dos meteoritos são: ^{39}Ar (meia vida 269 a), ^{14}C (5.73 ka), ^{41}Ca (100 ka), ^{59}Ni (108 ka), ^{81}Kr (229 ka), ^{36}Cl (300 ka), ^{26}Al (700 ka), ^{60}Fe (1.49 Ma), ^{10}Be (1.5 Ma), ^{53}Mn (3.7 Ma) (Jull et al., 2006).

Para meteoritos recuperados na Antártica são reportadas longas idades terrestres da ordem de 1 – 2 Ma, por exemplo, para Allan Hills 88019 é estimada uma idade de 2.2 Ma (Scherer et al., 1997). Para meteoritos em regiões áridas são reportadas idades de 40 ka, o limite da técnica com ^{14}C . As idades geralmente apresentam uma distribuição dependendo da região onde são recuperados. Por exemplo, meteoritos recuperados na área de San Juan no deserto de Atacama, mostram uma distribuição de idades de 0 – 40 ka com mais da metade dos meteoritos com idades superiores a 20 ka (Gattacceca et al., 2011). Em outros desertos a proporção de meteoritos com mais de 20 ka é de 8% em Daraj na Líbia, 17% em Acfer na Argélia, 30% em Dar al Gani na Líbia, 42% em Dhofar, e 51% em Nullarbor na Austrália. O que indicaria uma melhor preservação de meteoritos no deserto de Atacama do que no Saara,

que tem experimentado vários períodos úmidos nos últimos 20 ka (Bland et al., 1998), contrariamente o Atacama apresenta um clima mais seco e ausência de períodos úmidos nos últimos centos de ka (ver capítulo 1, seção 1.2). Apesar da população de meteoritos ser mais velha, San Juan mostra um menor grau de intemperismo que outros desertos quentes, e não há correlação entre as idades terrestres e grau de intemperismo, como observado para os meteoritos de Nullarbor, e contrariamente ao observado em Dhofar (Gattacceca et al., 2011).

2.4.4 – Mecanismos do intemperismo em meteoritos

Modelar com precisão a taxa de decomposição pelo intemperismo de amostras de meteoritos torna-se importante principalmente por duas razões. Primeiro, nos permite quantificar a interação entre o ambiente da superfície da terra e o intemperismo das rochas. Em segundo lugar, em desertos quentes, o intemperismo (químico e mecânico) é susceptível a ser o único meio pelo qual as amostras de meteoritos são removidas da população. Então conhecendo a taxa de decomposição e a medida do número de meteoritos por unidade de área, é possível fazer uma estimativa precisa do fluxo de meteoritos que chegam à Terra durante o período de acumulação.

Os maiores componentes em condritos ordinários são o Fe-Ni metálico, troilita (FeS), silicatos ferromagnesianos. Estes meteoritos tendem a formar ferrugem como principal produto de oxidação devido ao intemperismo. Um tipo de ferrugem (composto de Fe-Ni-S) é formado pelo intemperismo do metal Fe-Ni e troilita e outro formado pelo intemperismo dos silicatos ferromagnesianos (composto por Fe-Al-Si). Troilita é menos susceptível ao intemperismo que o Fe-Ni metálico (composto de dois polimorfos taenita e kamacita), taenita é menos susceptível que kamacita, e os silicatos são menos susceptíveis que o metal e sulfatos (Gooding, 1986). A akaganeita (β -FeOOH), goethita (α -FeOOH), lepidocrocita (γ -FeOOH) e maghemita (γ -Fe₂O₃) são identificados como produtos da corrosão em meteoritos antárticos (Buchwald and Clarke, 1989). A akaganeita (α -FeOOH) é descrita como um mineral com estrutura similar a holandita (KAlSi₃O₈) com Cl⁻ no sítio alcalino e escrita como: [Fe₁₅Ni][O₁₂(OH)₂₀]Cl₂(OH). A akaganeita é um mineral chave para entender os

processos de corrosão do metal meteorítico. Em meteoritos recuperados de ambientes secos e frios (< 20 % umidade relativa) akaganeita é estável por longo tempo, enquanto que em meteoritos de ambientes temperados a akaganeita é observada na zona de corrosão ativa e decompõe em goethita e maghemita. Igualmente a troilita, olivina e piroxênio podem reagir e produzir a dissolução de íons Fe^{2+} , posteriormente a oxidação para Fe^{3+} e a hidrólise dos íons Fe^{3+} para formar ferridrita e depois goethita, maghemita, etc.

O intemperismo dos meteoritos condritos ordinários envolve uma combinação de um número de processos. O produto inicial do intemperismo do metal Fe-Ni é a akaganeita e para os minerais primários (troilita, olivina e piroxênio) é a ferridrita. Ao longo do tempo os produtos iniciais se transformam em maghemita, goethita, lepidocrocita, etc.

Capítulo 3 – AS AMOSTRAS

3.1 – DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

3.1.1 – Áreas de recuperação

As amostras correspondem a meteoritos coletados no deserto de Atacama nas áreas de San Juan (52 meteoritos), El Médano (30 meteoritos), Caleta el Cobre (14 meteoritos) e Pampa de Mejillones (11 meteoritos), são incluídas também amostras de três meteoritos coletados em outras localidades do deserto de Atacama (OL), contabilizando um total de 110 meteoritos.

Na tabela 3.1 são listados os meteoritos coletados nas diferentes áreas do deserto de Atacama, indicando as principais características publicadas no *Meteoritical Bulletin* 87, 95, 97, 99 e 100 (Russell et al. (2003), Weisberg et al. (2009), Weisberg et al. (2010), Weisberg (2011a), Weisberg (2011b)). As amostras do deserto de Atacama foram coletadas nas missões de 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010 organizadas pela Universidade de Chile e o *Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement* (CEREGE). Nosso grupo teve participação na missão de 2008. O método de procura é de forma sistemática a pé o que facilita a identificação de pequenos possíveis meteoritos em relação às missões anteriormente realizadas por outros grupos no Atacama utilizando veículos motorizados.

A área de San Juan (SJ) encontra-se localizada na depressão central (DC) do deserto de Atacama, entretanto as áreas de Pampa de Mejillones (PM), Caleta el Cobre (CEC) e El Médano (EM) estão localizados na região costeira (CC). Porém as áreas de CEC e EM encontra-se localizadas quase no ponto médio da região CC em uma deflação geomorfológica a uma altitude de aproximadamente 1000 msnm. Os meteoritos agrupados como sendo de Outras Localidades (OL) foram recuperados nas regiões DC e CD. Portanto, no

futuro na análise de nossos resultados elas poderão ser associadas aos meteoritos da área de SJ devido ao fato de terem sido recuperados nas mesmas regiões ou perto delas com condições muito parecidas, similar situação apresentam as amostras de EM e CEC. Na figura 1.1 (Seção 1.1, Capítulo 1) observa-se a localização das diferentes áreas de recuperação dos meteoritos.

3.1.2 – Grupo Químico

As amostras correspondem a meteoritos classificados como condritos ordinários correspondentes aos três grupos químicos H, L e LL . Os meteoritos coletados na área de PM são preferencialmente do tipo L, em contraste com as outras áreas do Atacama onde a distribuição é similar a amostras recuperadas em outros desertos quentes e a Antártica. A figura 3.1 mostra o diagrama faialita (Fa) vs ferrossilita (Fs) em percentagem molar (% mol) para todas as amostras do Atacama indicando os limites para cada grupo químico H, L e LL (Brearley and Jones, 1998). Os pontos que caem fora dos limites dos grupos químicos geralmente também apresentam uma grande dispersão na percentagem de Fa e/ou Fs (ver tabela).

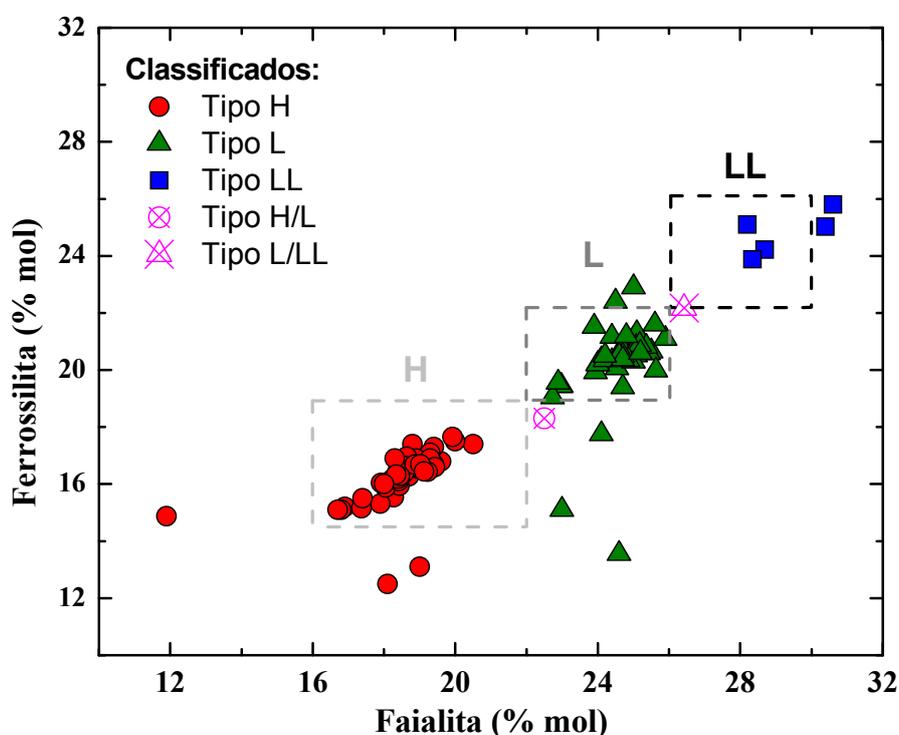


Figura 3.1 – Diagrama Fa vs Fs em mol %, indicando os limites dos grupos químicos H, L e LL.

Tabela 3.1 –Lista de Meteoritos recuperados nas diferentes áreas do deserto de Atacama: San Juan, Caleta el Cobre, El Médano, Pampa de Mejillones e Outras Localidades.

Nome Oficial	Massa (g)	Número de fragmentos	Classificação química	Grau de intemperismo	Estado do choque	Composição (mol %)		Susceptibilidade magnética (log χ)	Idade terrestre (Ka)	Latitude (S)	Longitude(W)
						Fa	Fs				
San Juan 003	210	1	H5	2	3	19,6±0.55	16.8±0.32	5.18	19,4±1,8	25° 26.77'	69° 51.52'
San Juan 004	229	1	L4	2	3	25.6±1.18	19.4±3.96	4.78	>33,6	25° 26.84'	69° 51.64'
San Juan 005	186	4	H6	3	3	19.4±0.1	17.3±0.61	4.50	37,8±16,9	25° 26.75'	69° 51.81'
San Juan 006	240	1	H3(3.9)	2	2	19.0±0.74	13.1±6.42	4.90	8,2±1,4	25° 26.78'	69° 51.32'
San Juan 007	399	1	H6	2	2	20.5±1.11	17.4±0.63	5.14	13,0±1,5	25° 26.85'	69° 51.06'
San Juan 008	104	1	LL6	3	3	30.6±0.65	25.8±0.45	3.18	-0,1±1,3	25° 26.91'	69° 51.11'
San Juan 010	21	1	H3(3.8)	3	2	19.5±1.07	16.7±2.31	4.64	11,2±1,7	25° 26.86'	69° 52.04'
San Juan 011	34	1	H4	2	2	18.9±0.24	16.9±0.44	5.04	17,6±1,8	25° 26.87'	69° 52.04'
San Juan 012	67	1	H5	2	2	19.9±0.24	17.5±0.17	5.06	1,2±1,3	25° 26.59'	69° 53.73'
San Juan 013	145	1	L3(3.9)	1	3	24.58±1.07	13.56±8.19	4.73	25,5±2,6	25° 26.63'	69° 52.22'
San Juan 014	134	1	L6	3	3	24.38±0.20	20.31±0.22	4.38	32,2±6,2	25° 26.70'	69° 52.24'
San Juan 015	349	1	L6	2	3	24.62±0.23	20.50±0.28	4.53	39,8±10,2	25° 26.67'	69° 52.02'
San Juan 016	116	1	H5	2	1	18.28±0.11	16.25±0.21	5.16	29,5±5,4	25° 26.65'	69° 52.29'
San Juan 017	56	1	H6	3	2	18.73±0.15	16.78±0.36	4.91	17,5±2,0	25° 26.61'	69° 52.47'
San Juan 018	17	1	L5	1	3	24.02±0.47	20.21±0.15	4.82	35,2±9,2	25° 26.58'	69° 52.51'
San Juan 019	181	2	L6	2	3	24.41±0.28	21.17±0.54	4.63	7,3±1,3	25° 26.55'	69° 52.44'
San Juan 020	151	1	H5	3	3	18.16±0.30	16.14±0.24	4.98	25,7±4,1	25° 26.49'	69° 52.57'
San Juan 021	174	1	H4	3	1	18.50±0.31	16.19±0.31	4.94	20,6±2,2	25° 26.50'	69° 52.41'
San Juan 022	86	1	L6	2	4	23.94±0.49	21.52±1.17	4.43	24,8±2,6	25° 26.55'	69° 52.33'
San Juan 023	540	1	H5	2	3	18.95±0.24	16.53±0.23	5.23	20,9±2,1	25° 26.58'	69° 52.31'
San Juan 024	15	1	L6	1	3	24.14±0.18	20.38±0.33	4.66	*	25° 26.40'	69° 52.34'
San Juan 025	419	1	H5	2	3	18.27±0.34	15.54±0.25	5.19	*	25° 35'	69° 47'
San Juan 026	307	1	L6	2	1	24.69±0.26	20.64±0.24	4.44	*	25° 26.55'	69° 52.27'
San Juan 027	199	1	H3-5(3.2)	3	2	18.50±0.10	16.71±0.16	4.98	>31,3	25° 26.56'	69° 52.27'
San Juan 028	151	1	H5	1	3	17.87±0.55	15.32±0.54	5.29	*	25° 26.47'	69° 52.27'
San Juan 029	399	1	H3(3.2/3.5)	3	1	18.10±9.30	12.50±4.08	4.93	13,9±1,5	25° 26.51'	69° 52.26'

Continuação Tabela 3.1.

Nome Oficial	Massa (g)	Número de fragmentos	Classificação química	Grau de intemperismo	Estado do choque	Composição (mol %)		Susceptibilidade magnética (log χ)	Idade terrestre (Ka)	Latitude (S)	Longitude(W)
						Fa	Fs				
San Juan 030	26	1	H5	1	3	18.71±0.37	16.27±0.25	5.24	*	25° 26.51'	69° 52.22'
San Juan 031	218	1	L3(3.8/3.9)	0/1	3	24.13±0.96	17.75±2.79	4.98	*	25° 26.42'	69° 52.74'
San Juan 032	29	1	H5/6	2	3	18.91±0.08	16.56±0.23	5.27	*	25° 26.55'	69° 52.63'
San Juna 033	357	5	H6	1	4	19.3±0.1	17.1±0.2	5.23	*	25° 26.45'	69° 52.13'
San Juan 034	814	7	L6	1	4	25.0±0.3	21.1±0.2	4.72	*	25° 26.42'	69° 52.09'
San Juan 036	28	1	L6	3	4	25.1±0.1	21.3±0.2	4.41	*	25° 26.43'	69° 52.81'
San Juan 037	11	1	L5	2	1	24.7±0.1	20.8±0.1	4.72	*	25° 26.39'	69° 52.82'
San Juan 038	460	3	H5	1	3	18.8±0.2	17.4±1.3	5.34	*	25° 26.51'	69° 52.90'
San Juan 039	39	1	L6	3	2	24.7±0.2	20.7±0.3	4.59	*	25° 35'	69° 47'
San Juan 041	88	1	H/L6	2	4	22.5±0.2	18.3±0.8	4.59	*	25° 26.37'	69° 53.04'
San Juan 044	120	1	H5	1	3	19.2±0.5	16.7±0.3	5.23	*	25° 26.62'	69° 53.04'
San Juan 045	10	1	H3(3.2/3.5)	3	1	16.9±8.7	15.2±3.7	4.73	*	25° 26.61'	69° 52.00'
San Juan 046	57	1	H5	2	3	18.9±0.3	16.9±0.2	4.85	*	25° 26.54'	69° 51.88'
San Juan 048	11	1	H5	1	2	18.8±0.3	16.7±0.2	5.17	*	25° 26.84'	69° 53.01'
San Juan 049	42	1	H5	1	1	18.9±0.3	16.6±0.2	5.21	*	25° 26.36'	69° 53.18'
San Juan 051	118	1	H5	1	1	19.3±0.2	16.9±0.3	5.20	*	25° 26.32'	69° 53.19'
San Juan 052	49	1	L3(3.9)	1	2	22.9±4.6	15.1±7.3	4.73	*	25° 26.37'	69° 53.15'
San Juan 053	27	1	H5	1	*	18.44±0.17	15.94±0.27	5.26	*	25° 26.30'	69° 53.30'
San Juan 054	238	1	L4	1	*	25.5±0.87	20.65±0.36	4.61	*	25° 26.44'	69° 51.82'
San Juan 055	168	1	H3	2	*	11.9±8.2	14.88±4.4	4.94	*	25° 26.36'	69° 51.81'
San Juan 056	85	1	L5	1	*	24.54±0.65	20.06±0.44	4.70	*	25° 26.33'	69° 51.53'
San Juan 057	263	4	L6	1	*	25.08±0.85	20.8±0.45	4.71	*	25° 26.94'	69° 52.89'
San Juan 058	171	1	LL6	3	*	30.39±0.27	25.03±0.25	3.25	*	25° 26.96'	69° 52.89'
San Juan 059	168	2	L5	1	*	23.94±0.31	19.92±0.32	4.72	*	25° 26.94'	69° 52.82'
San Juan 060	74	4	H5	1	*	18.38±0.36	16.44±0.16	5.27	*	25° 26.79'	69° 53.15'
San Juan 062	1125	15	H5	3	*	18.2±0,3	16.1±0,1	4.64	*	25° 25.51'	69° 41.41'

Continuação Tabela 3.1.

Nome Oficial	Massa (g)	Número de fragmentos	Classificação química	Grau de intemperismo	Estado do choque	Composição (mol %)		Susceptibilidade magnética (log χ)	Idade terrestre (Ka)	Latitude (S)	Longitude(W)
						Fa	Fs				
EI Médano 002	12	5	L6	3	8	25,18±1,28	20,88±0,34	4.58	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 003	11	1	H5	2	*	18,57±0,19	16,4±0,16	4.99	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 004	151	1	H4	1	*	17,37±0,27	15,15±0,25	5.32	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 005	582	5	L6	2	*	24,59±0,25	20,45±0,22	4.59	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 006	55	1	LL6	4	*	28,68±0,69	24,22±1,36	3.85	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 007	31	1	LL6	4	*	28,34±0,18	23,88±0,18	3.46	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 008	33	1	L6	3	*	25,63±1,52	19,99±0,19	4.31	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 009	65	1	L6	3	*	24,85±0,92	20,35±0,25	4.61	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 011	87	1	H6	3	*	17,92±0,17	16,04±0,43	4.81	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 012	54	2	H6	3	*	18,41±0,40	16,10±0,19	4.79	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 014	54	3	H4	2	*	16,8±0,4	15,1±0,5	4.95	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 015	98	1	H4	3	*	17,4±0,6	15,5±0,3	4.73	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 016	57	1	L6	4	*	24,7±0,3	20,5±0,3	4.01	*	~24° 51'	~70° 32'
EI Médano 017	156	2	L6	3	*	25,0±0,3	20,3±0,4	4.03	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 018	15	1	H4	3	*	16,7±0,2	15,1±0,3	4.77	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 020	102	1	L6	3	*	24,6±0,3	20,5±0,5	4.28	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 021	50	1	H6	3	*	18,3±0,2	16,2±0,1	4.78	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 022	47	2	H6	3	*	18,5±0,3	16,5±0,3	4.87	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 023	115	1	L6	3	*	24,0±0,8	20,2±0,4	4.37	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 025	132	1	H6	3	*	18,4±0,2	16,2±0,3	4.91	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 028	141	3	L5	1	*	24,2±0,37	20,35±0,47	4.76	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 029	392	15	L5	1	*	24,0±0,3	20,24±0,15	4.90	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 030	32	2	H6	3	*	19,23±0,55	16,43±0,39	4.45	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 031	35	1	H5	2	*	19,93±0,99	17,65±0,64	4.90	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 032	28	1	H6	2	*	18,86±0,12	16,68±0,26	4.73	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 033	45	1	H5	4	*	19,02±0,37	16,7±0,34	4.48	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 034	10	1	H6	3	*	19,12±0,33	16,45±0,35	4.61	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 036	54	1	H5	3	*	18,45±0,32	16,28±0,21	4.77	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 037	111	1	L6	3	*	24,70±0,97	20,38±0,34	4.54	*	24° 51'	70° 32'
EI Médano 026	154	1	L6	3	*	25,2±1,1	20,6±0,4	4.71	*	24° 51'	70° 32'

Continuação Tabela 3.1.

Nome Oficial	Massa (g)	Número de fragmentos	Classificação química	Grau de intemperismo	Estado do choque	Composição (mol %)		Susceptibilidade magnética (log χ)	Idade terrestre (Ka)	Latitude (S)	Longitude(W)
						Fa	Fs				
Caleta el Cobre 002	18	1	H6	3	*	19,08±0,41	16,81±0,33	4.55	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 003	338	4	H5	2	*	18.54±0.17	16.77±1.15	5.08	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 004	254	1	H5	2	*	18,05±0,28	15,88±0,29	5.25	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 005	193	10	H5	2	*	18.64±0.80	16.96±1.14	5.04	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 006	179	1	L6	3	*	25,43±1,03	20,59±0,43	4.53	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 007	24	1	L6	3	*	22,97±0,27	19,44±0,42	4.52	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 009	95	1	L4	1	*	22,73±0,35	19,05±0,22	4.77	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 010	47	1	L4	1	*	22,99±0,52	*	4.90	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 011	32	1	L6	4	*	25,07±0,37	20,52±0,19	4.39	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 012	17	1	L4	1	*	22,89±0,6	19,56±0,29	4.81	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 013	105	1	L4	3	*	22,98±1,14	19,45±0,15	4.73	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 015	115	1	L6	3	*	25,36±0,66	20,82±0,26	4.34	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 016	34	5	H5	2	*	18,58±0,51	16.64	4.83	*	24° 15'	70° 31'
Caleta el Cobre 017	41	4	H5	2	*	19,43±0,95	16,59±0,3	4.95	*	24° 15'	70° 31'

Nome Oficial	Massa (g)	Número de fragmentos	Classificação química	Grau de intemperismo	Estado do choque	Composição (mol %)		Susceptibilidade magnética (log χ)	Idade terrestre (Ka)	Latitude (S)	Longitude(W)
						Fa	Fs				
PdM 014	3650	3	L/LL4-6	2	3	26.42±0.55	22.18±0.99	4.55	12,54±1,95	23° 13'48.6"	70° 25' 19.9"
La Yesera 002	2625	67	LL5	2	2	28.20	25.10	3.87	25,44±4,45	23° 16.23'	70° 28.98'
La Yesera 004	1489	1	L6	3	2	25.90	21.10	4.39	4,35±1,34	23° 17' 19.0"	70° 28' 28.9"
Pampa B	10000	2	L5	3	4	25.00	*	4.18	21,29±2,45	23° 12' S	70° 26'
PdM 002	162	1	H5	3	2	18.30	16.90	4.88	3,86±1,36	23° 12' 50.6"	70° 26' 51.2"
Pampa D	12800	2	L5	2/3	2	25.00	22.90	4.52	14,18±1,91	23° 12'	70° 26'
PdM 004	3155	1	L6	4/5	3	25.60	21.60	4.34	34,07±1,92	23° 12' 17.3"	70° 27' 0.7"
La Yesera 003	447	1	L4	4	3	24.20	20.50	4.21	18,06±1,9	23° 17' 27.1"	70° 28' 20.6"
Pampa G	2900	3	L5	3	2	24.50	22.40	4.30	14,34±1,62	23° 11'	70° 26'
PdM 007	1075	5	L6	4	3	24.80	21.20	4.77	>27,9	23° 13' 44.8"	70° 27' 20.7"
PdM 012	360	1	H4	5	2	18.34±0.10	16.33±0.55	4.77	>34,3	23° 09' 44.0 "	70° 26' 10.8"

Continuação Tabela 3.1.

Nome Oficial	Massa (g)	Número de fragmentos	Classificação química	Grau de intemperismo	Estado do choque	Composição (mol %)		Susceptibilidade magnética ($\log \chi$)	Idade terrestre (Ka)	Latitude (S)	Longitude(W)
						Fa	Fs				
Lutschaunig's Stone	100000	1	L6	1	*	*	*	4.62	9,2±1,6	27°	70°
Estacion I milac	1908	1	H5	1	4	18.00	16.00	5.32	-3,7±1,3	24° 13' 47.4"	68° 53' 33.1"
Rencoret	1992	1	H6	3	3			5.04	*	25° 34.53'	69° 47.7'

3.1.3 – Distribuição de Massas

A distribuição de massas (figura 3.2) para os meteoritos recuperados nas áreas de SJ, CEC e EM tem massas abaixo de 250 g preferencialmente, em contraste com os meteoritos recuperados na área de Pampa de Mejillones que mostram massas acima de 1 kg. Em PM a procura de meteoritos tem sido realizada em veículos motorizados, entretanto nas outras áreas a procura de meteoritos é realizada a pé, o que facilita a identificação de meteoritos com pequenas massas. Os meteoritos recuperados recentemente a pé em PM acompanham as tendências da distribuição de massas de SJ, CEC e EM.

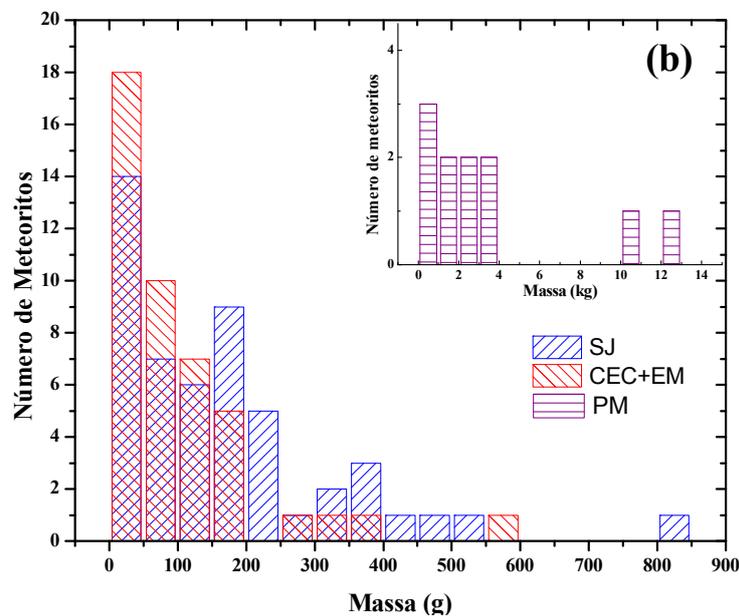


Figura 3.2 - Distribuição de massas dos meteoritos recuperados nas áreas de San Juan, El Médano, Caleta el Cobre e Pampa de Mejillones estudados na presente tese.

3.1.4 – Estado de Choque

O estado de choque (figura 3.3) para os meteoritos da área de SJ & OL são preferencialmente do tipo 3 e para a área de PM, do tipo 2.

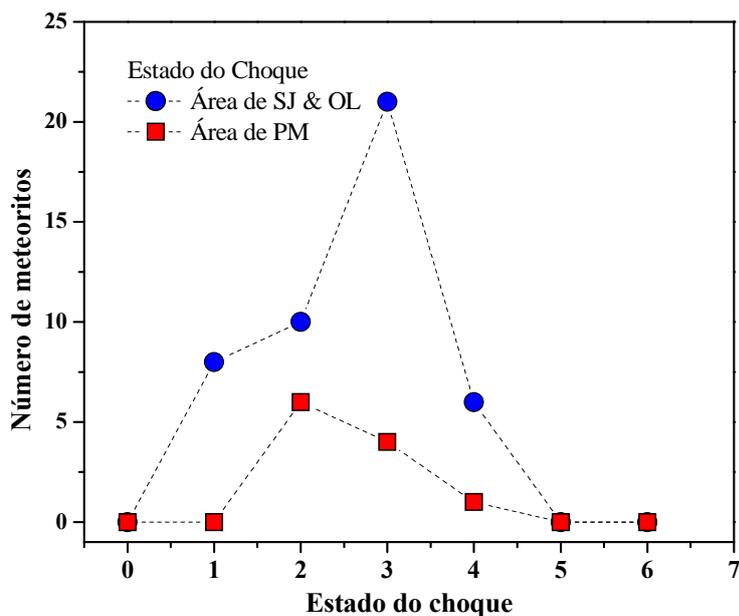


Figura 3.3 - Estado do choque para as áreas de SJ & OL e PM.

3.1.5 – Grau de intemperismo

O grau de intemperismo (figura 3.4) dos meteoritos recuperados nas diferentes áreas do Atacama mostram um grau de intemperismo W1 para os meteoritos da área de SJ & OL, enquanto que para as outras localidades o grau de intemperismo é preferencialmente de grau W3.

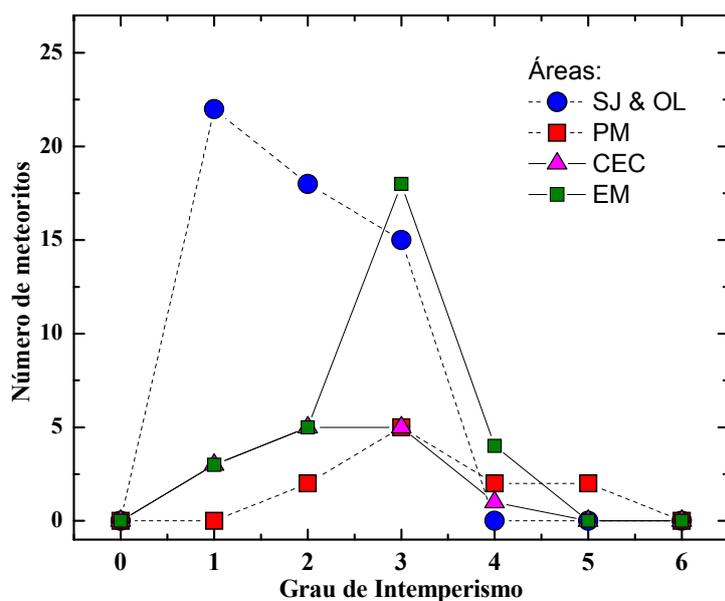


Figura 3.4 – Grau de intemperismo para meteoritos recuperados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.

3.1.6 – Susceptibilidade

A susceptibilidade magnética (figura 3.5) para os meteoritos recuperados nas diferentes áreas do deserto de Atacama mostram um valor de $\log \chi$ (χ medido em m^3/kg) para condritos do tipo H e L/LL de 5,13 e 4,62 respectivamente. Estes valores são um pouco menores que para os meteoritos "caídos" (H: 5.32 ± 0.10 e L/LL: 4.87 ± 0.10) fato que é esperado para meteoritos intemperizados.

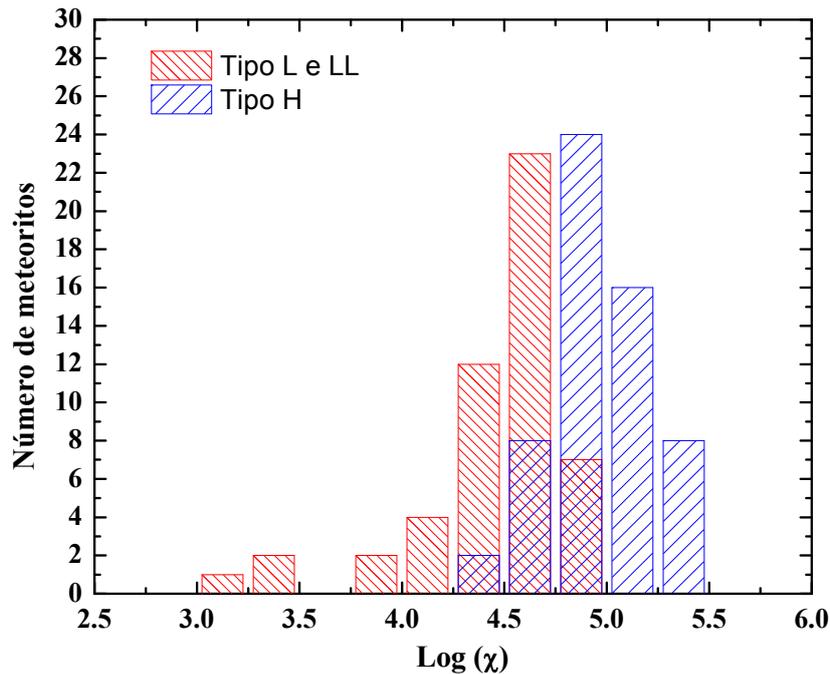


Figura 3.5 – $\log \chi$ para meteoritos recuperados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.

3.1.7 – Idades terrestres

As idades terrestres dos meteoritos da área de SJ & OL e PM mostram uma distribuição de idades de 0 – 40 ka (limite da técnica do ^{14}C) com mais da metade dos meteoritos com idades superiores a 20 ka.

Capítulo 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 – ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER

4.1.1 – Detalhes Experimentais

As medidas de espectroscopia Mössbauer do ^{57}Fe foram realizadas no laboratório de espectroscopia Mössbauer Jacques Danon do CBPF, utilizando um equipamento da marca comercial Halder com 512 canais em geometria de transmissão. A calibração do equipamento é feita com uma lâmina de $\alpha\text{-Fe}$ (28 μm de espessura) e uma fonte de ^{57}Co em uma matriz de Ródio (Rh).

Os absorvedores são preparados com aproximadamente 100 mg/cm^2 de amostra em pó (ver próxima seção). O tempo médio para a aquisição de dados é de aproximadamente 24 horas por cada amostra. As medidas são realizadas a temperatura ambiente (300 K) e à temperatura do hélio líquido (4.2 K). Nas medidas feitas em baixa temperatura a fonte e o absorvedor encontram-se a temperaturas diferentes, devido à configuração do criostato. A fonte é sempre mantida a 300K.

Para a análise dos espectros foi utilizado o programa Normos versão 95 (Brand, 1995) o qual permite até 20 componentes e 40 parâmetros livres durante o ajuste dos espectros, assumindo que estes são uma superposição de linhas Lorentzianas agrupadas em dubletos quadrupolares e sextetos magnéticos.

4.1.2 – Determinação da espessura do “absorvedor ideal”

Com a finalidade de otimizar o tempo de medida e obter um espectro Mössbauer com uma boa estatística, isto é, uma razão pequena entre background e absorção, no menor tempo possível, se faz necessário, entre

outros fatores, a determinação da "espessura ideal" do absorvedor para o qual se obtém a maior absorção. Existem vários métodos para a determinação da "espessura ideal" do absorvedor (Rancourt et al. (1993), Long et al. (1983)) a grande dificuldade em aplicá-los no caso dos meteoritos, é que é necessário o conhecimento da composição estequiométrica, que varia para cada meteorito em especial nos meteoritos intemperizados que é nosso caso. Assim, adotamos o seguinte método empírico para determinar a "espessura ideal" do absorvedor no caso dos meteoritos, foram preparados vários absorvedores com diferentes concentrações de amostra por cm^2 e medidas as respectivas absorções. Na figura 4.1 observa-se a absorção em função da concentração de amostra / cm^2 , a máxima absorção é obtida para uma concentração de 100 mg/cm^2 . Considerando a composição média em peso dos condritos ordinários (Hutchison, 2004) nosso "absorvedor ideal" contém uma densidade de 21.5 $\text{mg-Fe}/\text{cm}^2$.

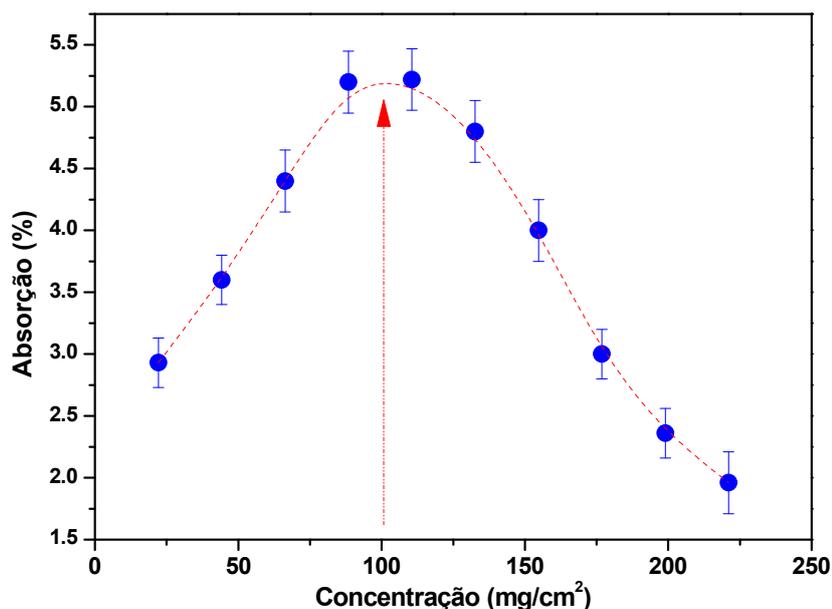


Figura 4.1 – Absorção dos espectros Mössbauer em função da concentração de amostra/ cm^2 .

4.1.3 – Técnica empregada na análise dos espectros Mössbauer

Os espectros Mössbauer foram ajustados com uma superposição de linhas lorentzianas agrupadas em forma de dubletos quadrupolares e sextetos

magnéticos. Para descrever os dubletos quadrupolares são necessários os seguintes parâmetros: deslocamento isomérico (IS), desdobramento quadrupolar (QS), largura de linha (W) e área relativa (A). Para a descrição dos sextetos magnéticos é necessário incluir o campo hiperfino (B_{hf}). A natureza física destes parâmetros será descrita no apêndice A. Assim, para cada dubleto quadrupolar teremos 4 parâmetros de ajuste, entretanto para as componentes magnéticas teremos 5.

Uma análise dos espectros a 300 K sugere um ajuste com três dubletos quadrupolares e na maioria dos casos até quatro componentes magnéticas, portanto teremos aproximadamente 32 parâmetros para serem ajustados simultaneamente.

A partir dos parâmetros obtidos como resultado dos ajustes, dois dubletos podem ser atribuídos a átomos de Fe^{2+} , um deles associados a olivina (IS \sim 1.20 mm/s, QS \sim 3.0 mm/s) e o outro ao piroxênio. Já o terceiro dubleto é atribuído a átomos de Fe^{3+} .

Os sextetos magnéticos são identificados por meio de seus campos hiperfinos, como sendo: Fe-Ni, troilita, goethita, maghemita e/ou hematita.

Em 4,2 K os espectros se apresentam muito complexos mostrando efeitos de relaxação magnética. Sabe-se que olivina e piroxênio apresentam efeitos de relaxação magnética em baixa temperatura, usualmente abaixo de 50 K. Para levar em conta estes efeitos é introduzido nos ajustes um novo parâmetro ω (frequência de relaxação magnética). Para os ajustes são necessários 4 dubletos e até seis componentes magnéticas com o que teremos 54 parâmetros para serem ajustados simultaneamente.

A análise dos espectros é realizada utilizando-se o programa Normos versão 95 (Brand, 1995). Os ajustes são altamente complexos devido ao grande número de variáveis tanto a 300K quanto a 4,2 K. Nesta tese foi seguida a seguinte rotina nos ajustes de todas as amostras:

Passo 1

a – Larguras de linha (W) de todas as componentes são fixadas inicialmente ao valor obtido na calibração da velocidade utilizando uma folha de Fe- α (\sim 0.30 mm/s).

b – A área relativa (A) de todas as componentes é mantida livre durante todo o procedimento de ajuste.

c – Os parâmetros IS, QS dos dubletos são mantidos livres.

d – Os parâmetros IS, QS, B_{hf} das componentes magnéticas são mantidos fixos.

Nestas condições, os parâmetros livres são ajustados.

Passo 2

a – O parâmetro W é mantido no mesmo valor do passo 1

b – Os parâmetros IS e QS dos dubletos são agora fixados aos valores obtidos no passo 1.

c – Os parâmetros IS, QS e B_{hf} das componentes magnéticas são agora mantidos livres.

Nestas condições, os parâmetros livres são ajustados.

Passo 3

a – Os parâmetros IS, QS dos dubletos e o B_{hf} das componentes magnéticas são mantidos fixos aos valores obtidos nos passos 1 e 2. O parâmetro W é mantido livre para todas as componentes.

Nestas condições, os parâmetros livres são ajustados.

b – Os resultados finais são analisados, caso existam valores fora dos valores típicos o procedimento é repetido novamente.

4.1.4 – Espectros Mössbauer de meteoritos intemperizados

Na figura 4.2 observa-se os espectros Mössbauer a temperatura ambiente (300 K) e a temperatura do hélio líquido (4,2 K) para três meteoritos selecionados, com diferentes graus de intemperismo: San Juan 052 (baixo), El Médano 026 (médio) e a PdM 012 (alto). Os espectros Mössbauer a 300 K (figura 4.2a) mostram a superposição de componentes magnéticas e paramagnéticas (Munayco et al., 2009; Munayco et al., 2008). Os espectros foram ajustados com três dubletos quadrupolares, dois deles atribuídos ao Fe^{2+} , um deles associado a olivina (IS ~ 1.20 mm/s e QS ~ 3.0 mm/s) e outro ao piroxênio (IS ~ 1.20 mm/s e QS ~ 2.20 mm/s). O terceiro dubleto é atribuído ao Fe^{3+} com

parâmetros hiperfinos ($IS \sim 0.35$ mm/s e $QS \sim 0.60$ mm/s) típicos de diversos óxidos e/ou hidróxidos em estado superparamagnético, como por exemplo, akaganeita, lepidocrocita, ferridrita ou pequenas partículas de goethita. Para a correta identificação destas fases são necessárias medidas a baixa temperatura afim de suprimir a rápida relaxação superparamagnética. Adicionalmente, dependendo do grau de intemperismo são necessários de dois a quatro sextetos magnéticos, que são identificados pelo valor do seu campo hiperfino (B_{hf}), dois deles são associados a fases primarias Fe-Ni (kamacita e/ou taenita) e troilita (FeS), as outras componentes são atribuídas aos produtos do intemperismo (Valenzuela et al., 2007). Uma das componentes magnéticas somente é observada em meteoritos com alto grau de intemperismo (por exemplo, PdM 012 na figura 4.2a), com um campo hiperfino de ~ 50 T, o qual poderia estar associado à hematita ou maghemita, fases que apresentam campos hiperfinos muito próximos quando medidos a temperatura ambiente. A outra componente magnética tem uma forma alargada e é ajustada assumindo uma distribuição de campos hiperfinos com $\langle B_{hf} \rangle$ que varia de 27 T a 34 T. Esta componente pode estar associada a pequenas partículas de goethita, motivo pelo qual apresentariam $\langle B_{hf} \rangle$ abaixo dos valores típicos da goethita (38 T) e linhas alargadas. Assim, para a correta identificação dos produtos de alteração terrestre é necessário realizar medidas em baixa temperatura.

Os espectros a 4,2 K (figura 4.2b) mostram típicos efeitos de relaxação magnética e a superposição de fases magnéticas. Considerando que a olivina e o piroxênio relaxam magneticamente em temperaturas abaixo de ~ 50 K (Scorzelli et al., 2008), o ajuste destas fases utiliza um modelo de relaxação do programa Normos. Foram testadas combinações de ajustes com duas, três e quatro componentes. Os melhores resultados foram obtidos com quatro componentes, duas delas atribuídas a olivina e duas ao piroxênio, resultado compatível com a estrutura cristalina da olivina e piroxênio, que apresentam dois sítios cristalográficos distintos para o Fe.

Trasmissão relativa

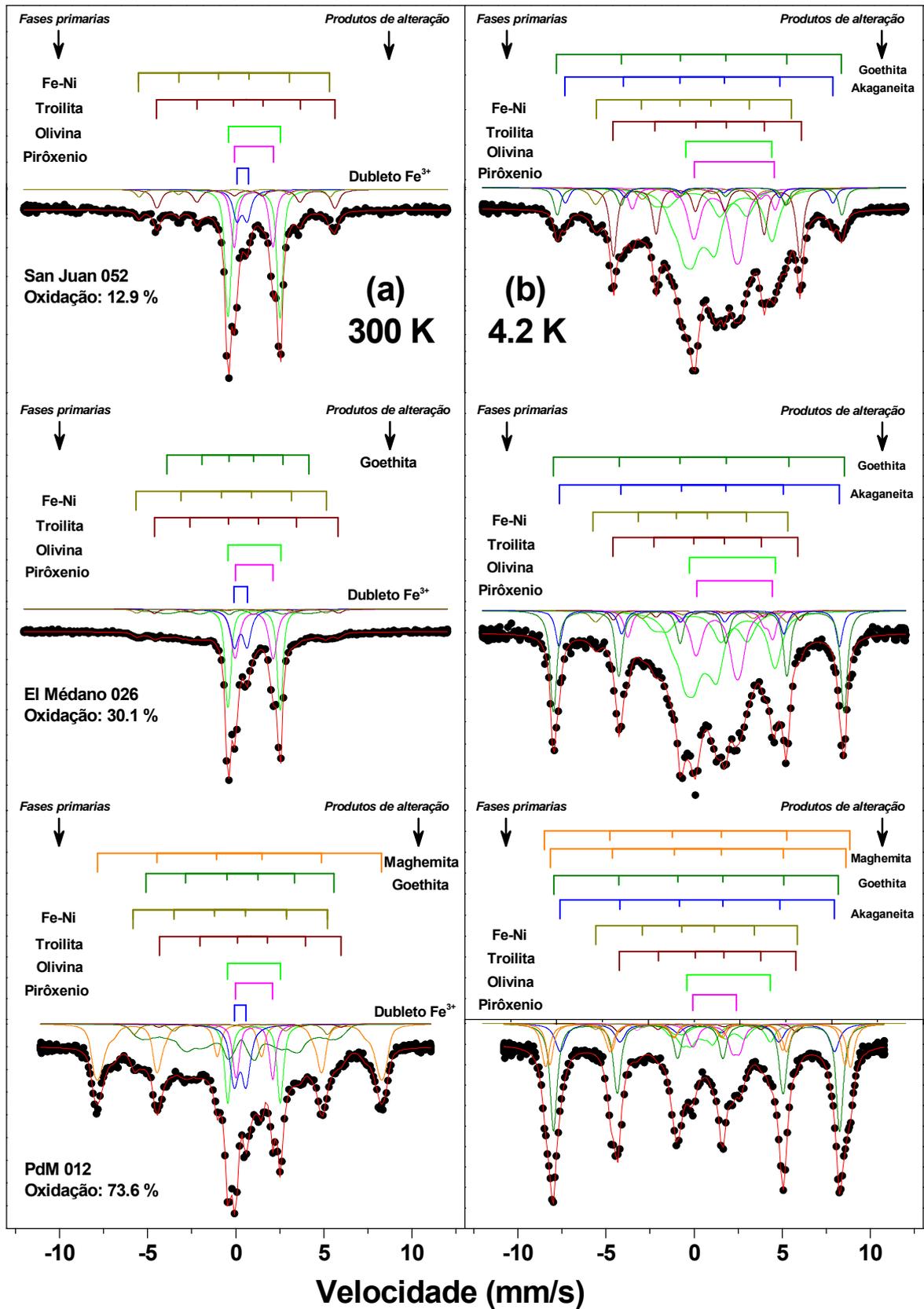


Figura 4.2 - Espectros Mössbauer para três amostras selecionadas (San Juan 052, El Médano 026, PdM 012) mostrando diferentes graus de intemperismo a) medidos a 300 K, b) medidos a 4,2 K.

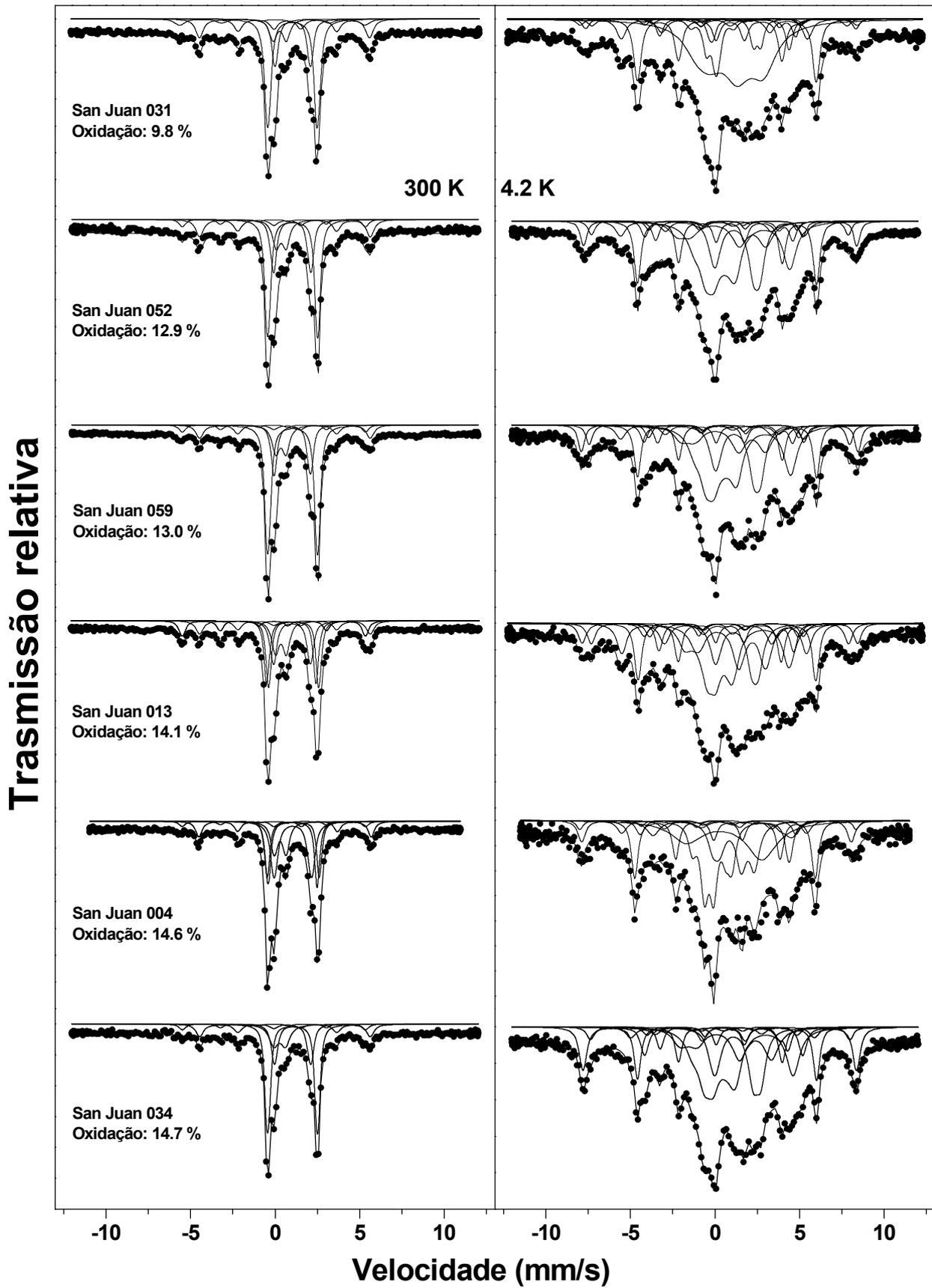
As componentes magnéticas observadas em 4,2 K são identificadas pelos seus parâmetros hiperfinos como sendo Fe-Ni, troilita, goethita ($B_{hf} \sim 50$ T) e akaganeita ($B_{hf} \sim 47-49$ T), em amostras com alto grau de intemperismo são observadas duas componentes magnéticas com B_{hf} típicos da maghemita. Em 4,2 K a maghemita apresenta duas componentes magnéticas atribuídas a dois diferentes sítios cristalográficos ocupados pelos átomos de Fe.

Na figura 4.2a, SJ 052 só apresenta o dubleto Fe^{3+} como único produto de alteração. Em 4,2 K o dubleto de Fe^{3+} desdobra-se magneticamente devido à supressão da rápida relaxação superparamagnética (Figura 4.2b). Assim, o dubleto de Fe^{3+} observado a 300 K é um dubleto associado a partículas superparamagnéticas e, portanto, será chamado de DS- Fe^{3+} . Na figura 4.2, El Médano 026 apresenta o DS- Fe^{3+} e a goethita como produtos de alteração. Enquanto que PdM 012 apresenta o DS- Fe^{3+} , goethita e maghemita.

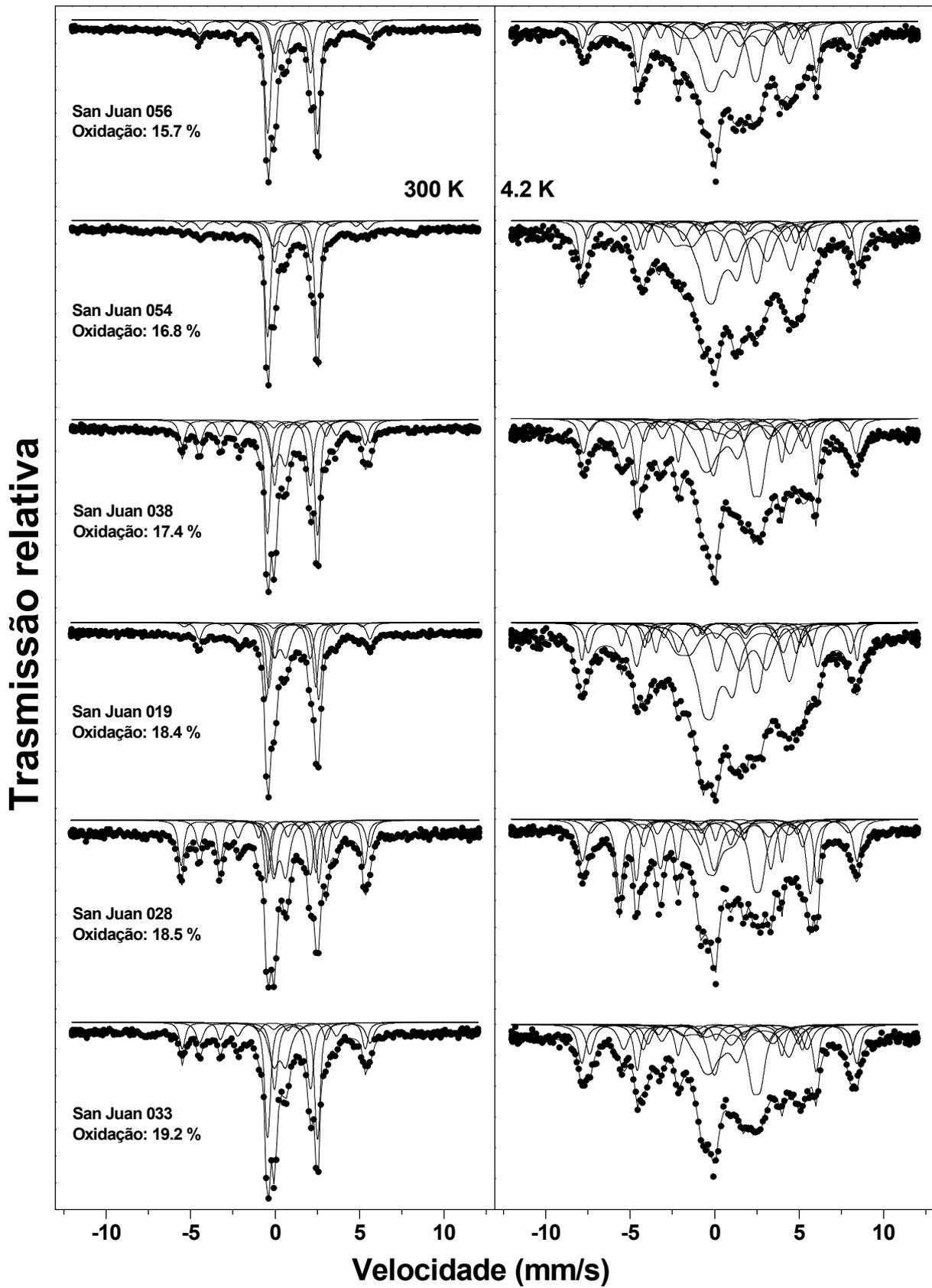
Nas figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 são apresentadas as medidas de espectroscopia Mössbauer a 300 K e 4,2 K para os meteoritos coletados nas áreas de San Juan, El Médano, Caleta el Cobre, Pampa de Mejillones e Outras Localidades, respectivamente. Nas figuras são mostrados os ajustes e as diferentes componentes observadas seguindo o mapa definido na figura 4.2 e também é indicada a percentagem de oxidação para cada amostra.

Os parâmetros hiperfinos obtidos dos ajustes dos espectros a 300 K e 4,2 K mostrados nas figuras 4.3 a 4.7 são apresentados nas tabelas 4.1 a 4.5. A quantificação das diferentes fases é realizada usando as áreas relativas obtidas dos ajustes dos espectros Mössbauer a 300 K e 4,2 K e os resultados são mostrados nas tabelas 4.6 a 4.10. Nas tabelas são indicadas as áreas relativas para as fases primárias e os produtos do intemperismo, assim como também a oxidação total definida como a soma de todas as fases que contém Fe^{3+} .

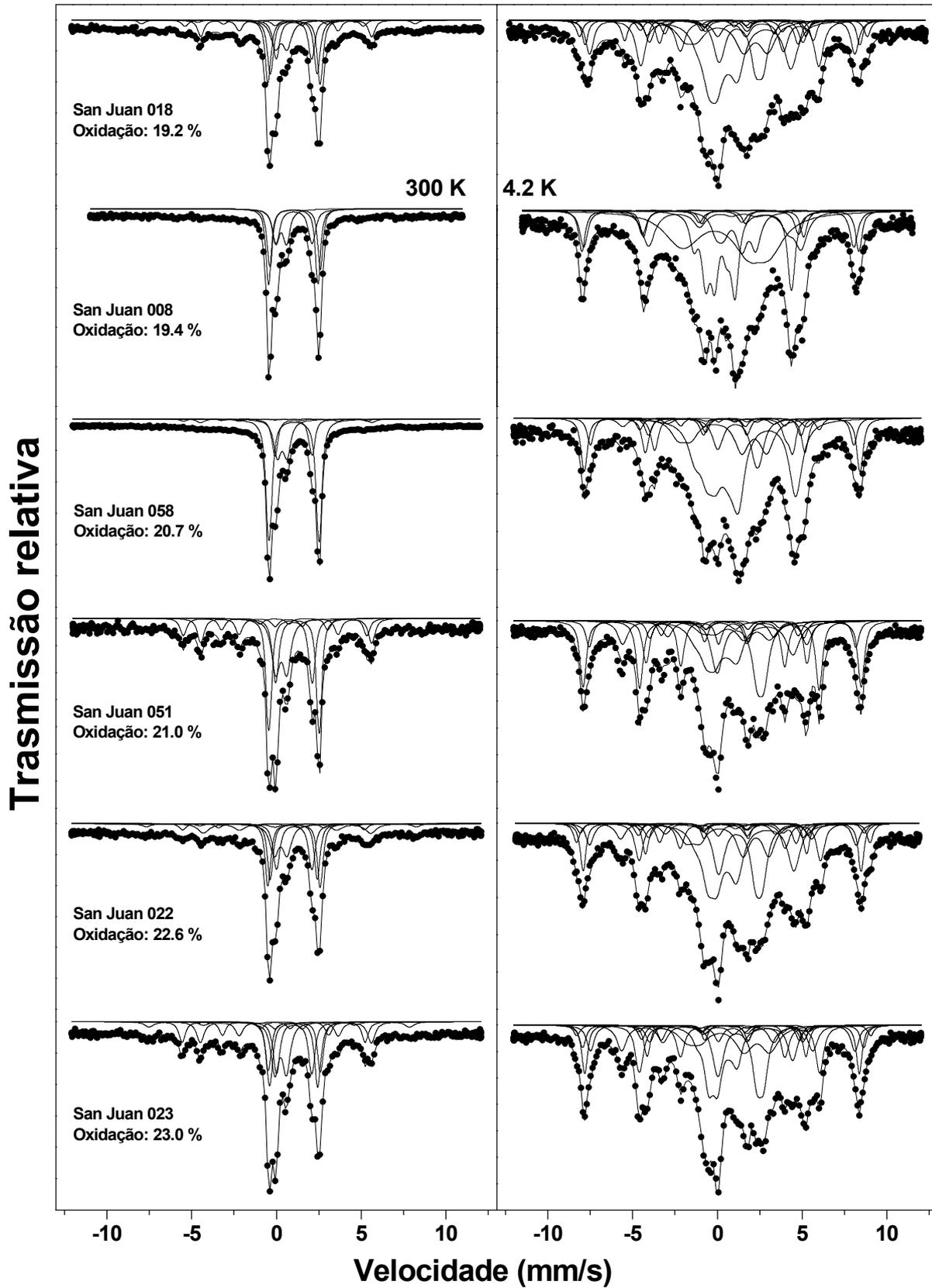
Figura 4.3 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de San Juan.



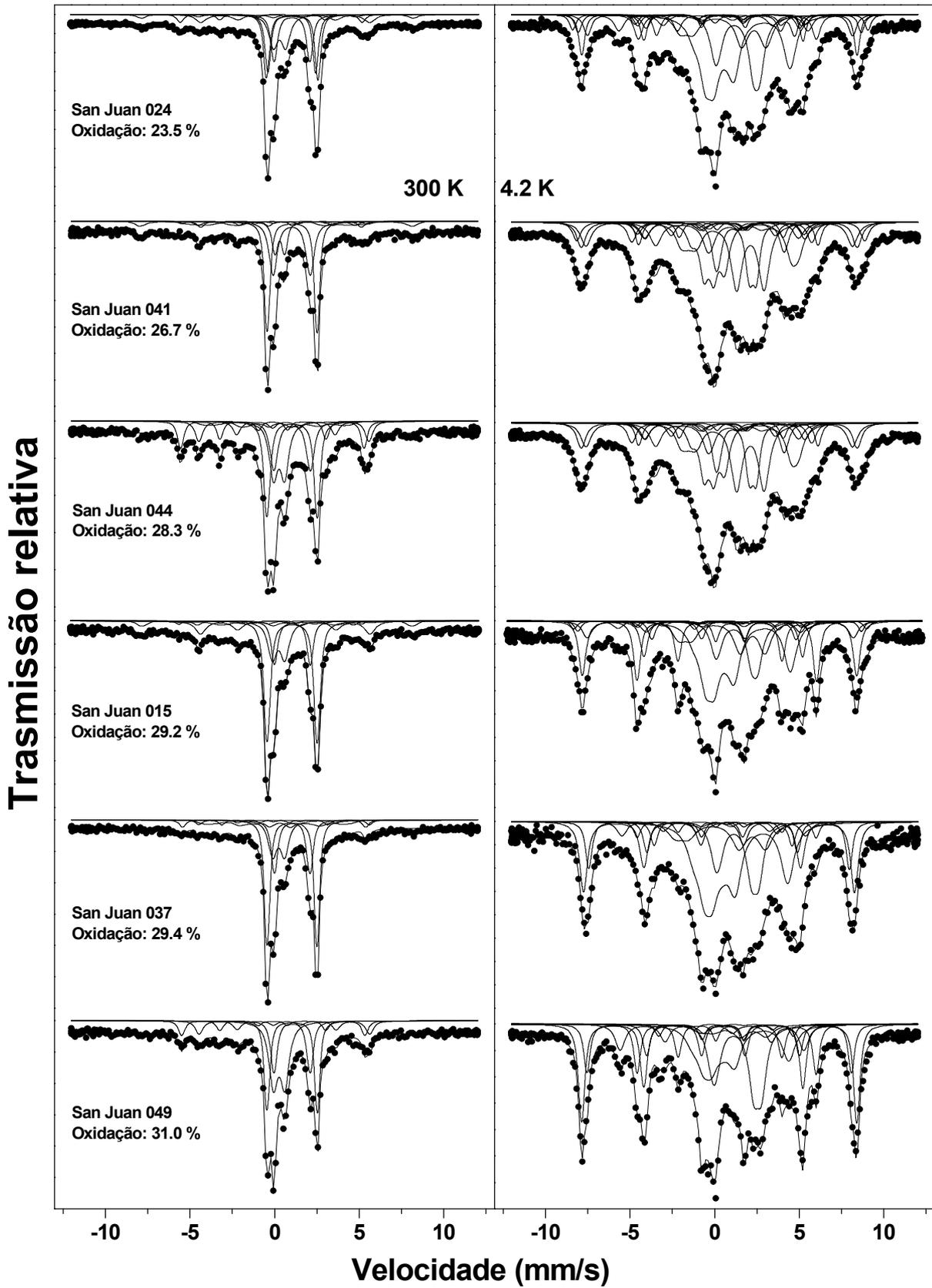
Continuação figura 4.3.



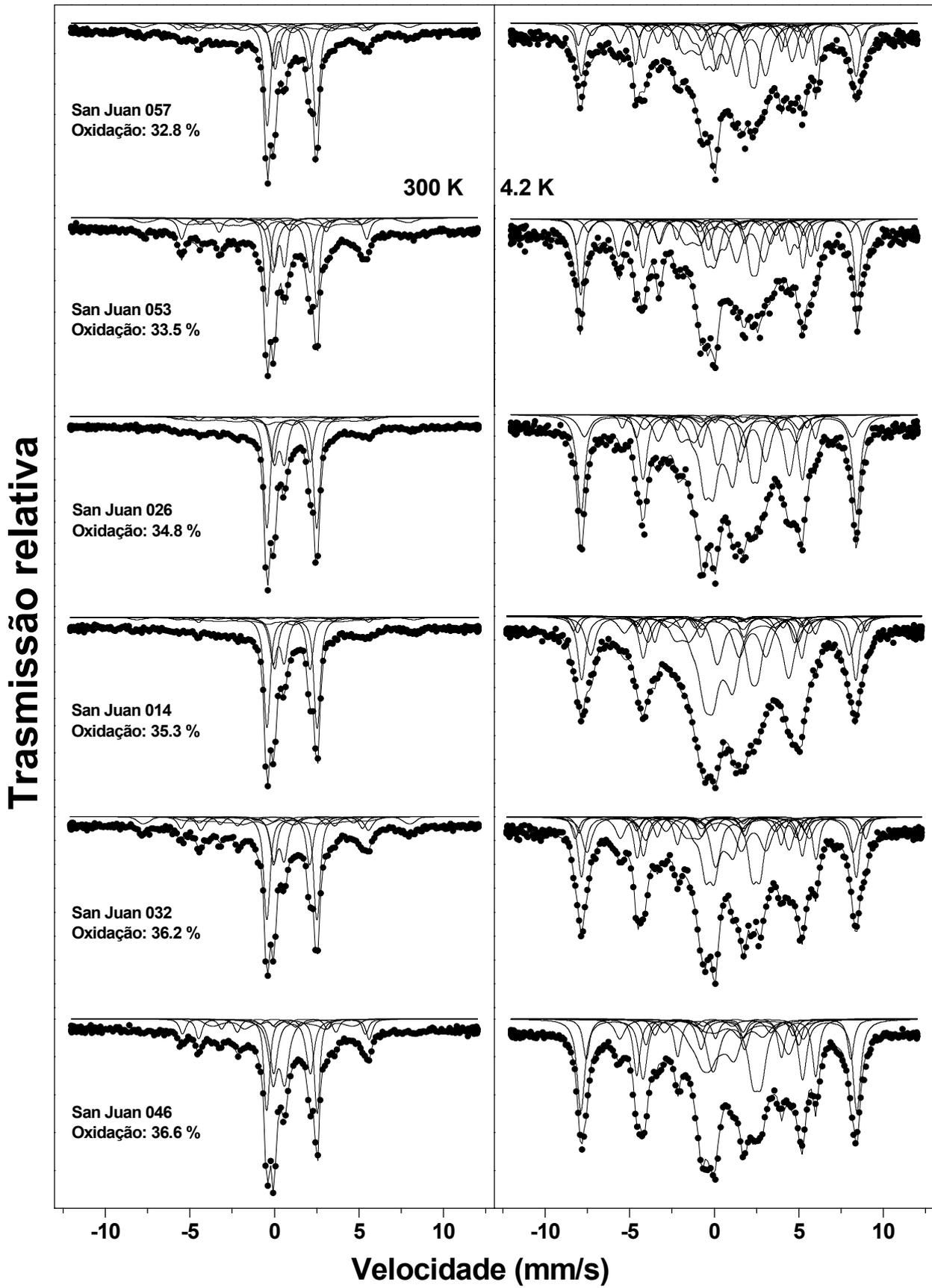
Continuação figura 4.3.



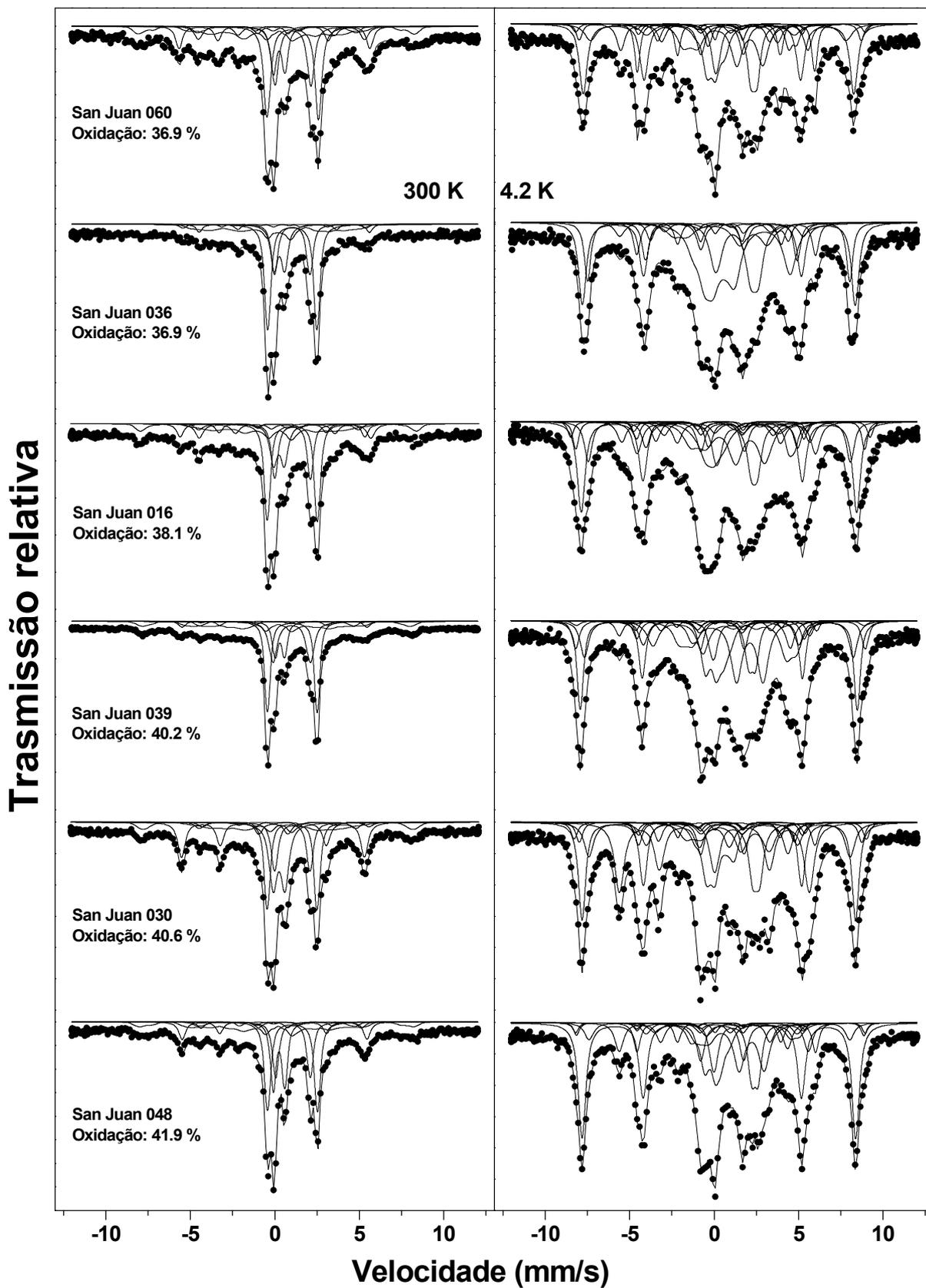
Continuação figura 4.3.



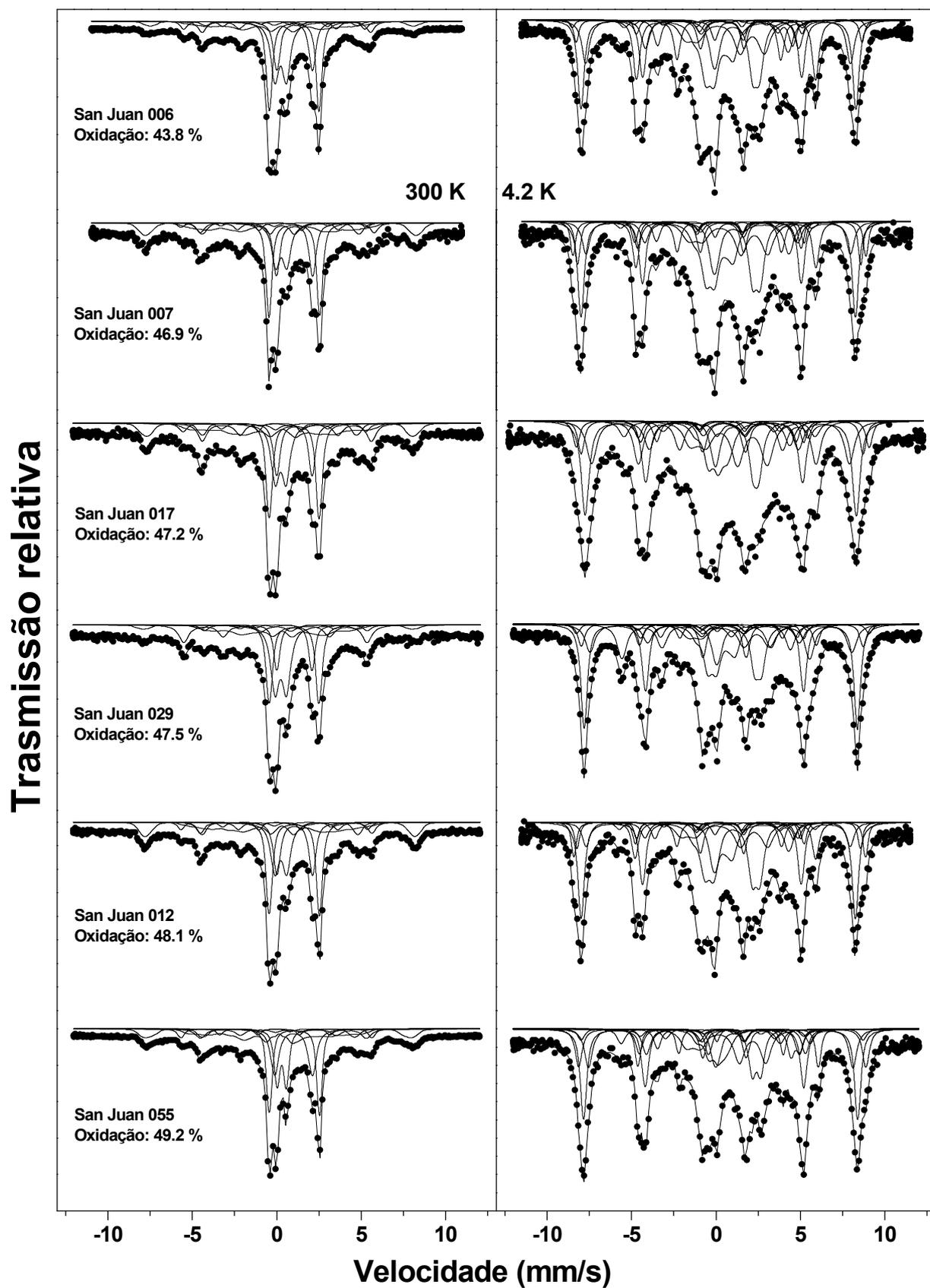
Continuação figura 4.3.



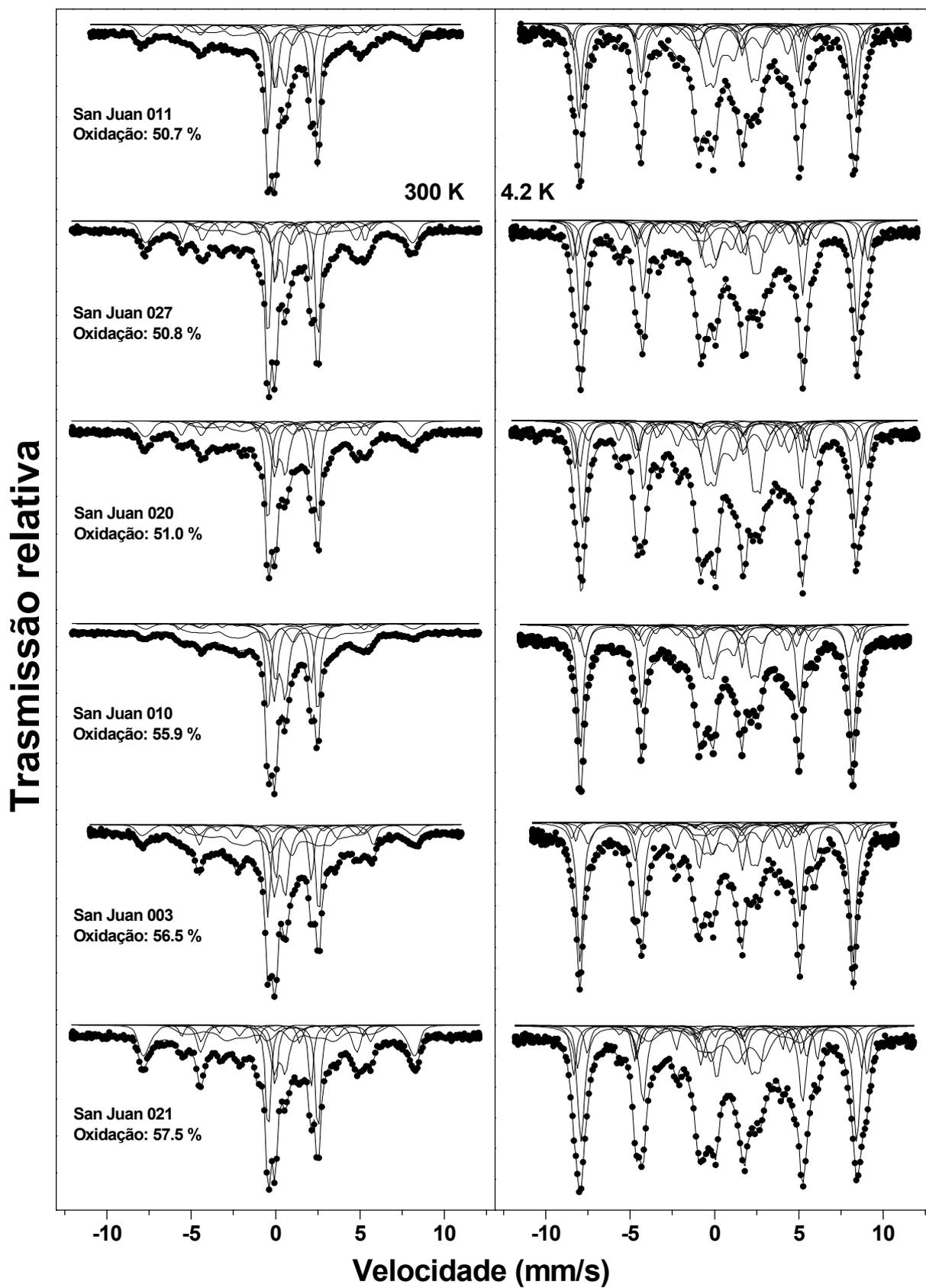
Continuação figura 4.3.



Continuação figura 4.3.



Continuação figura 4.3.



Continuação figura 4.3.

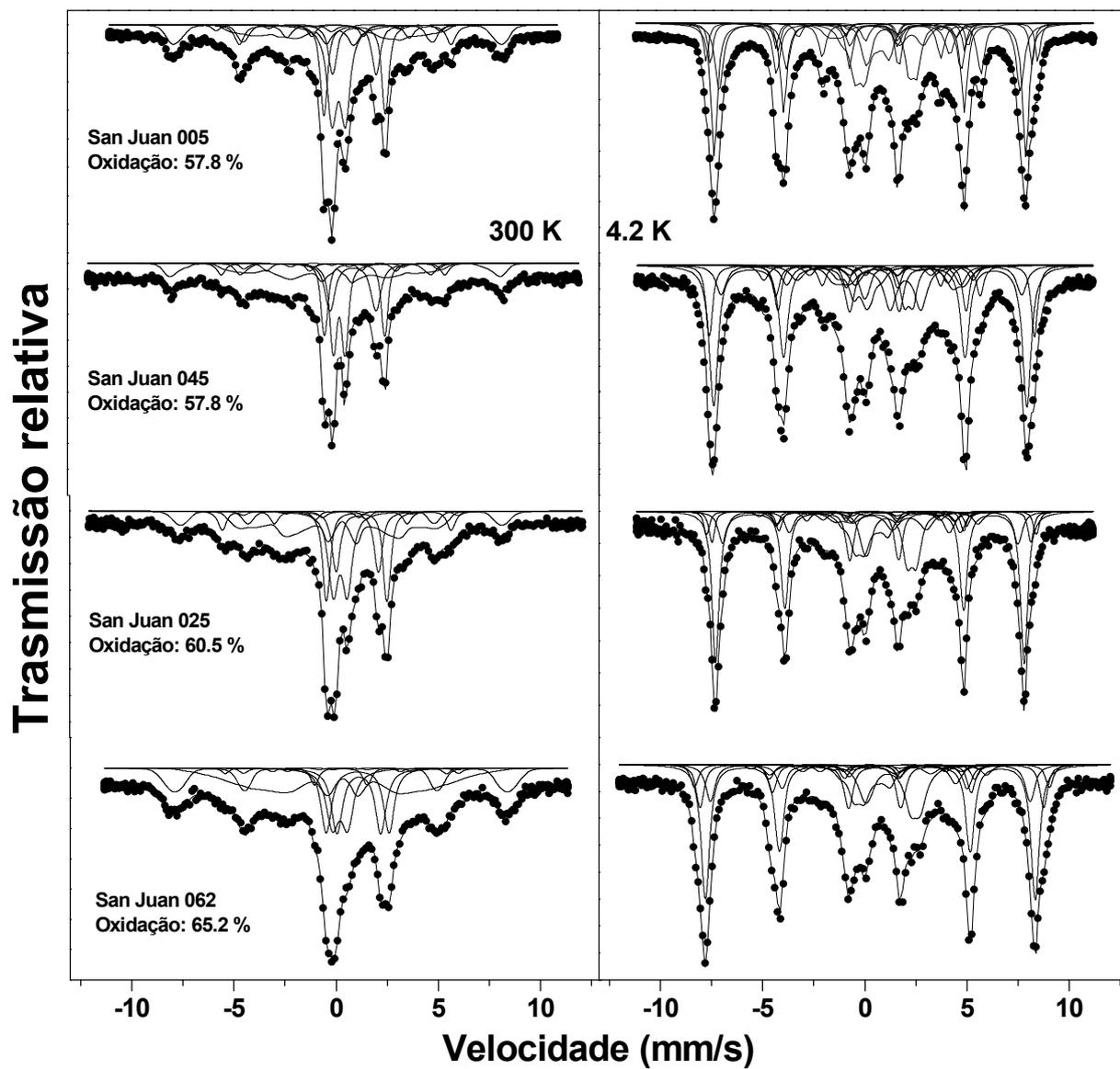
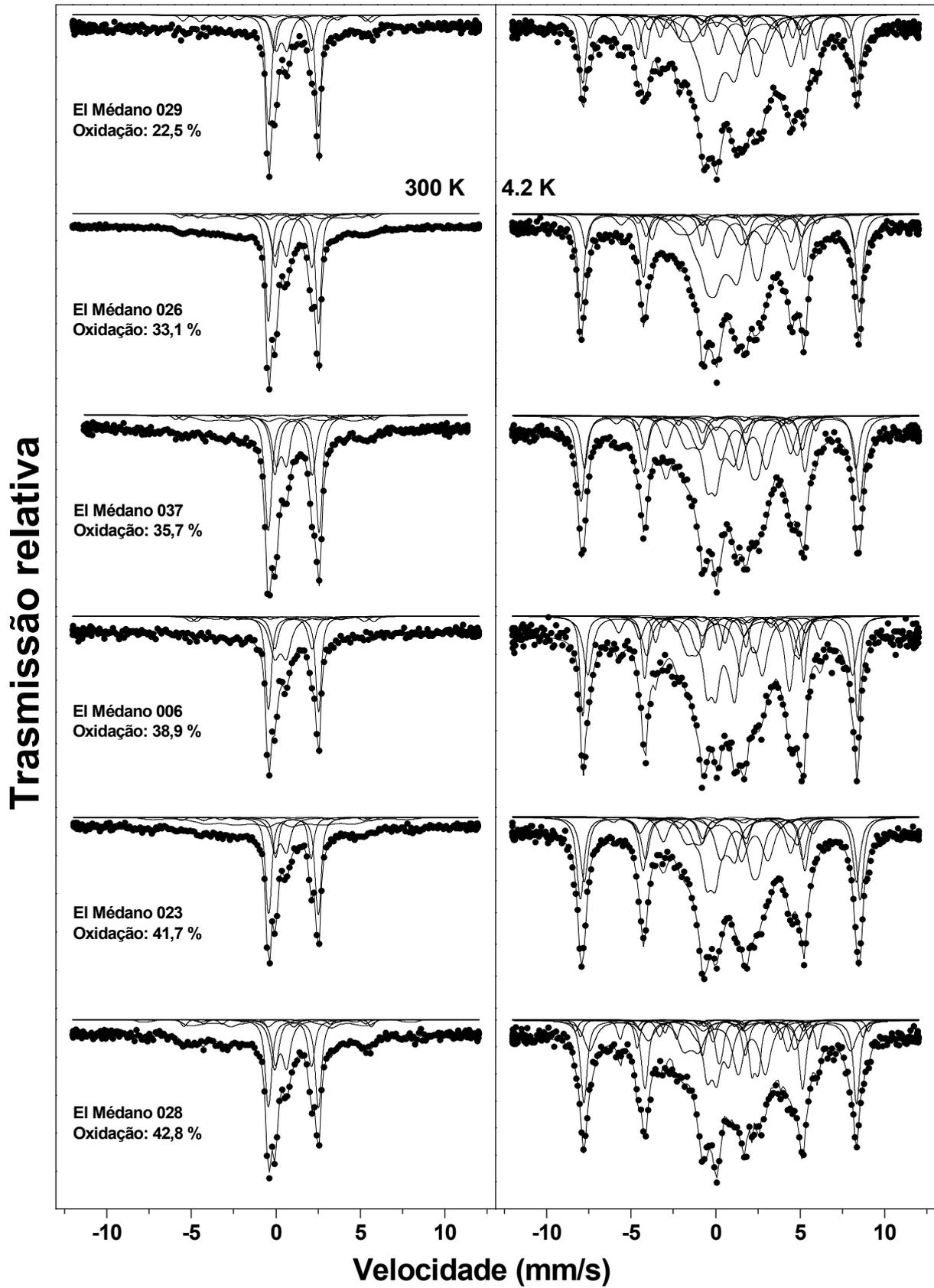
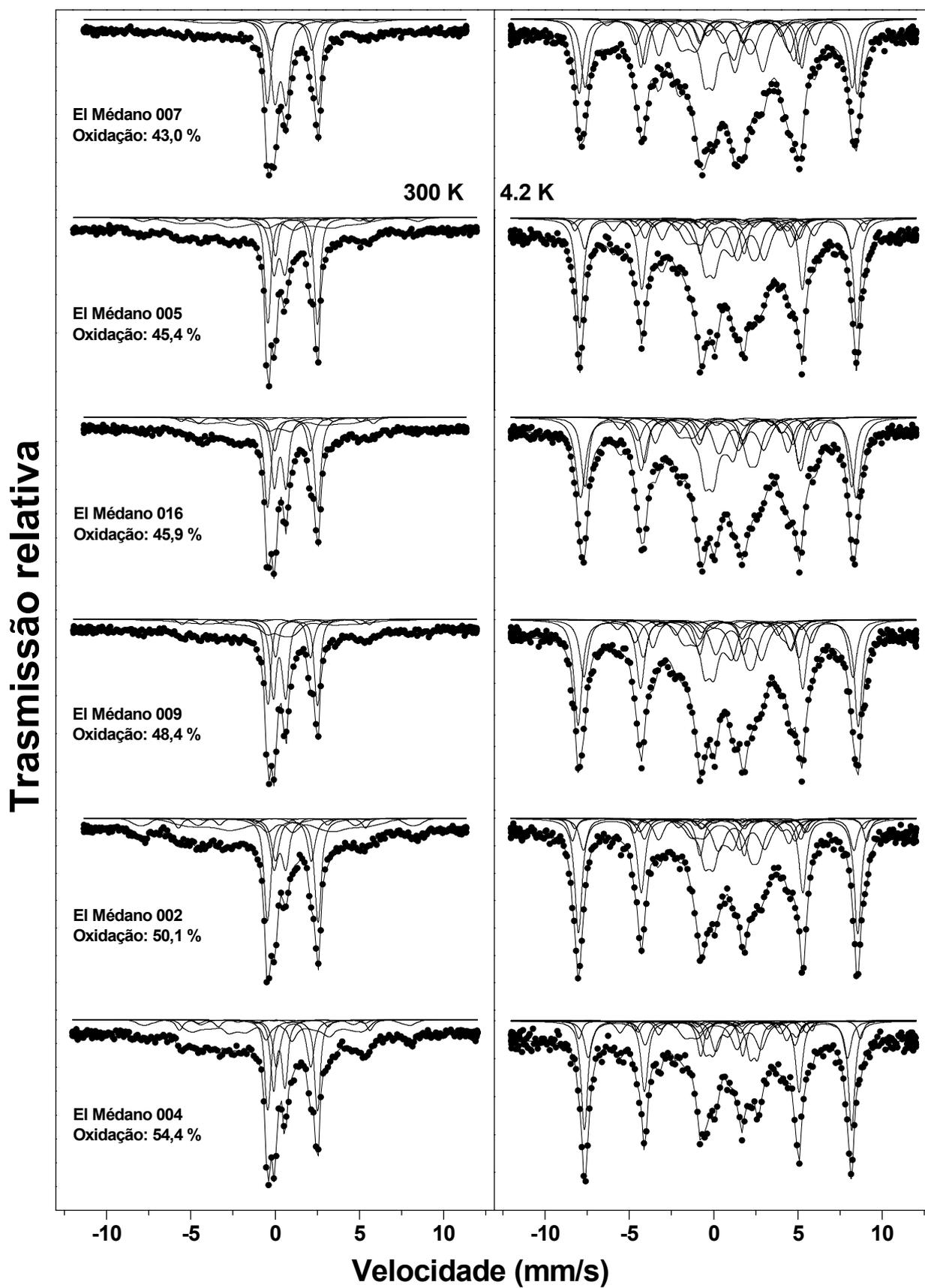


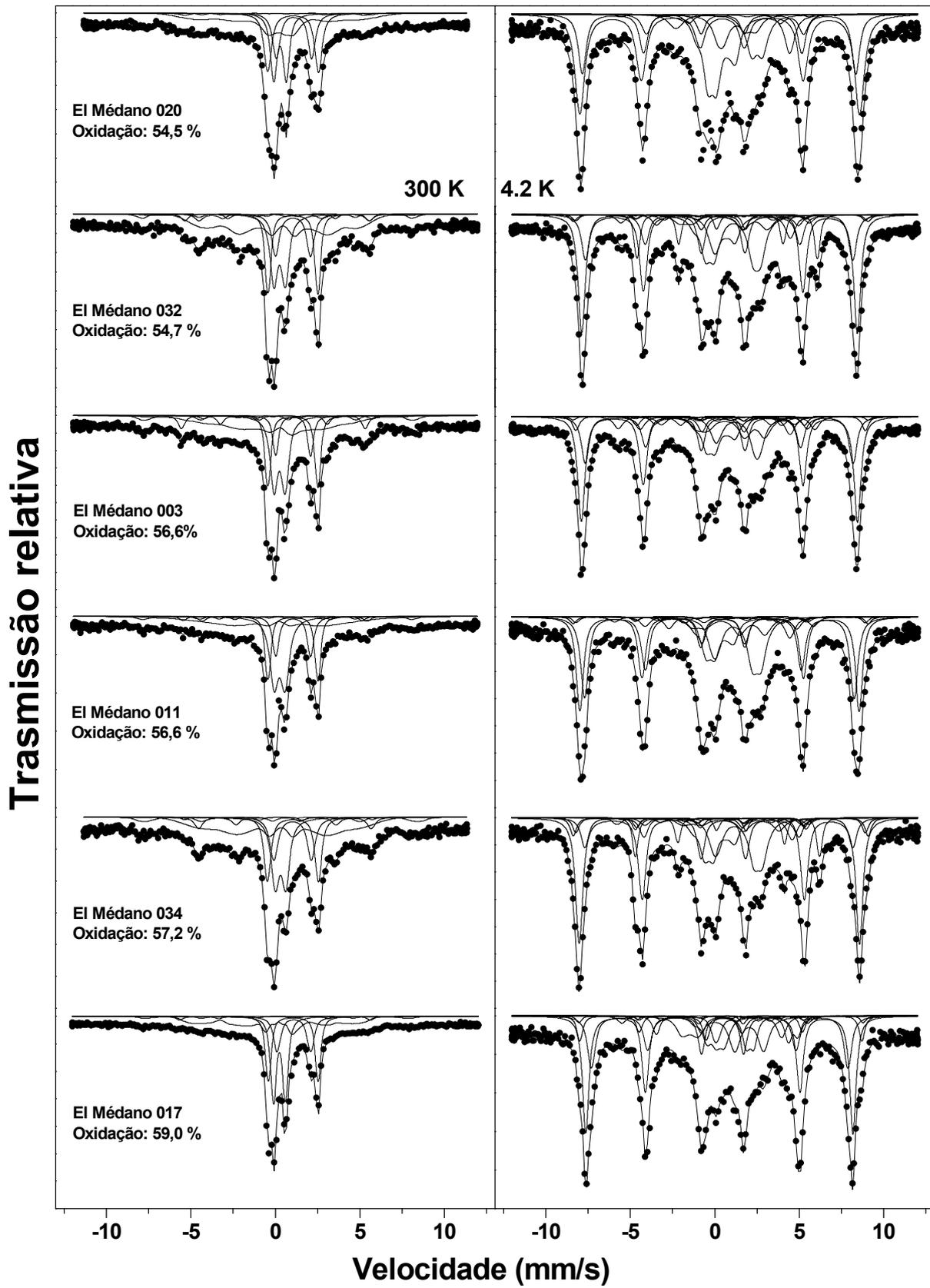
Figura 4.4 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de El Médano.



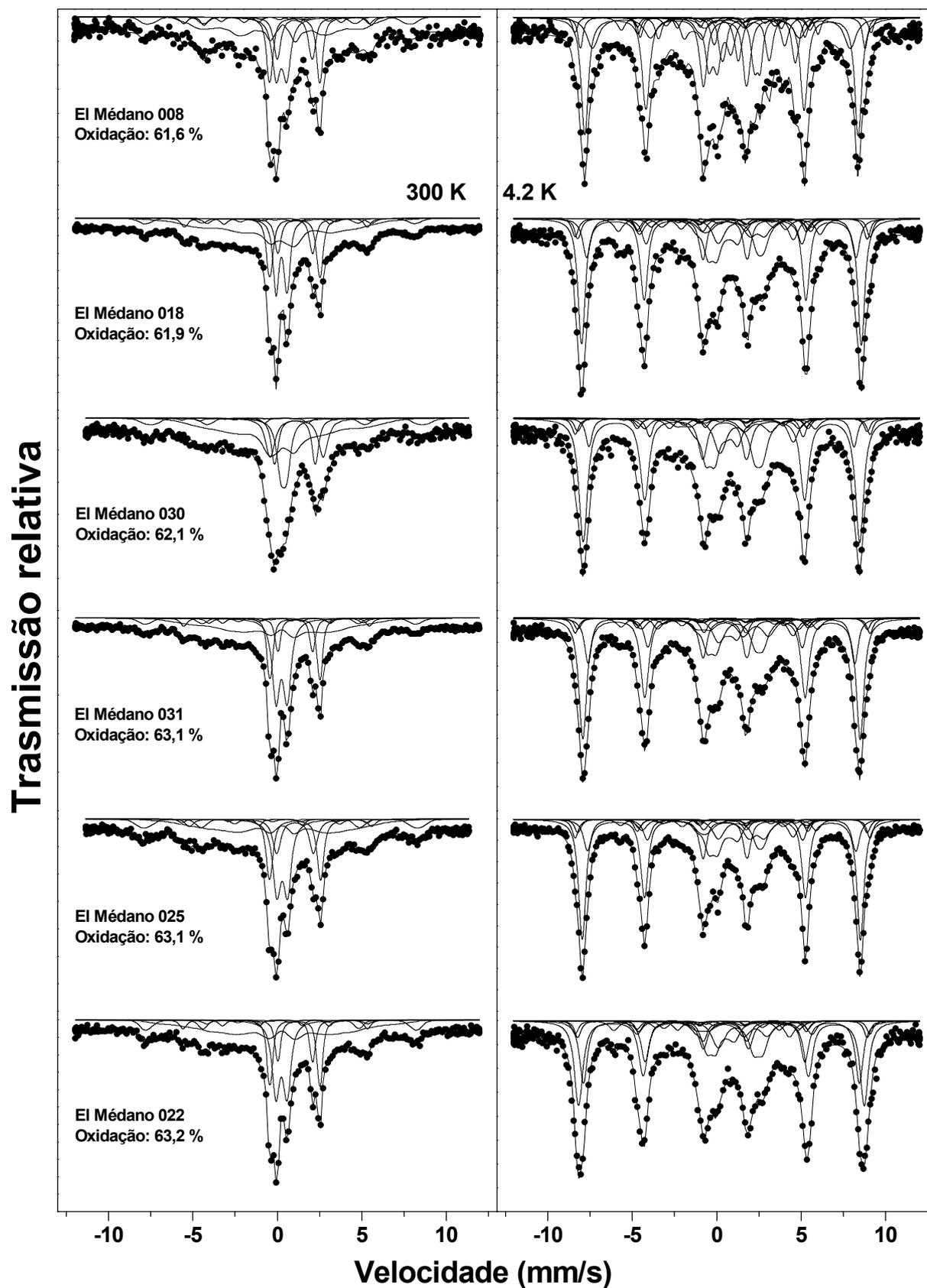
Continuação figura 4.4.



Continuação figura 4.4.



Continuação figura 4.4.



Continuação figura 4.4.

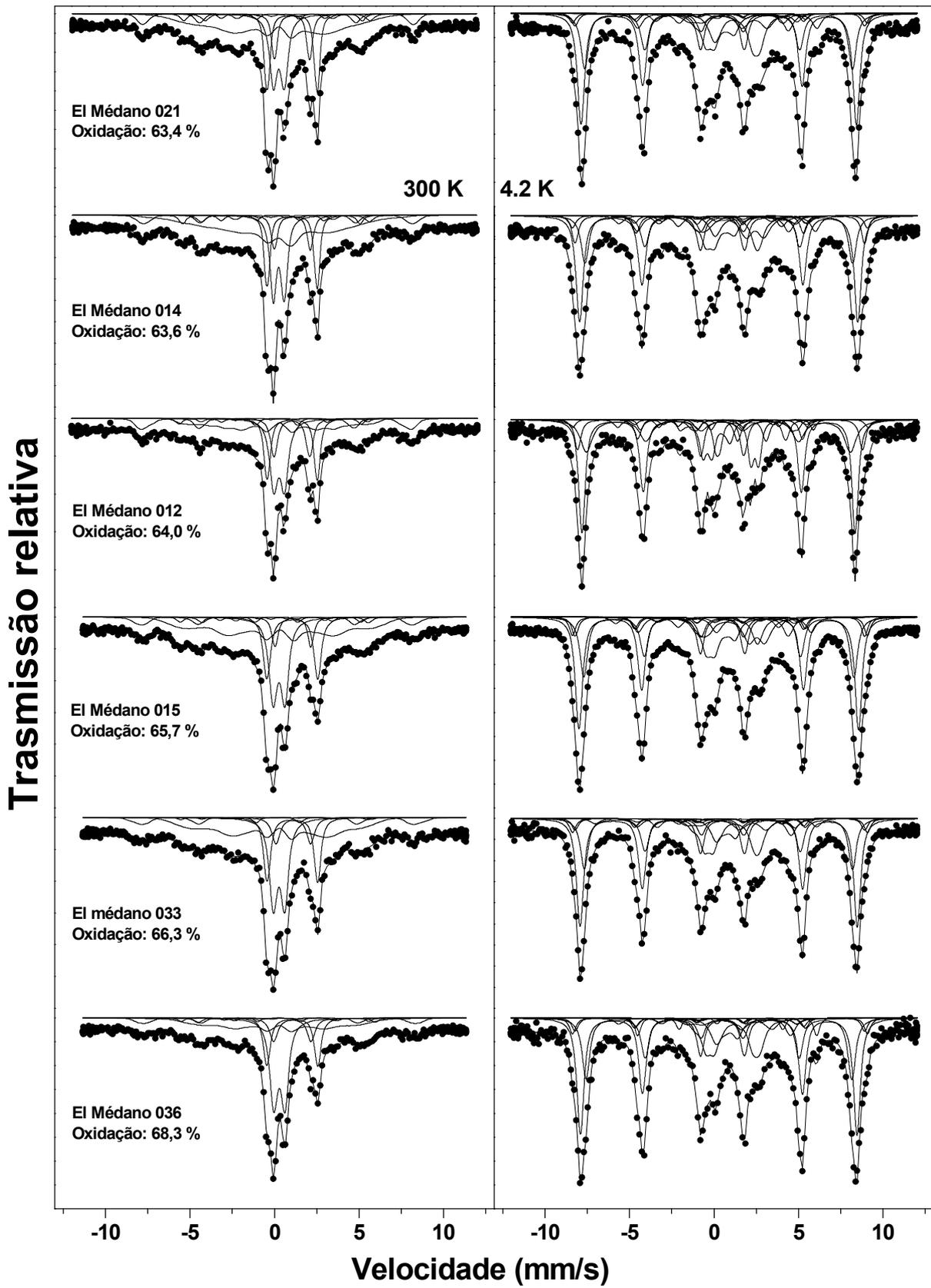
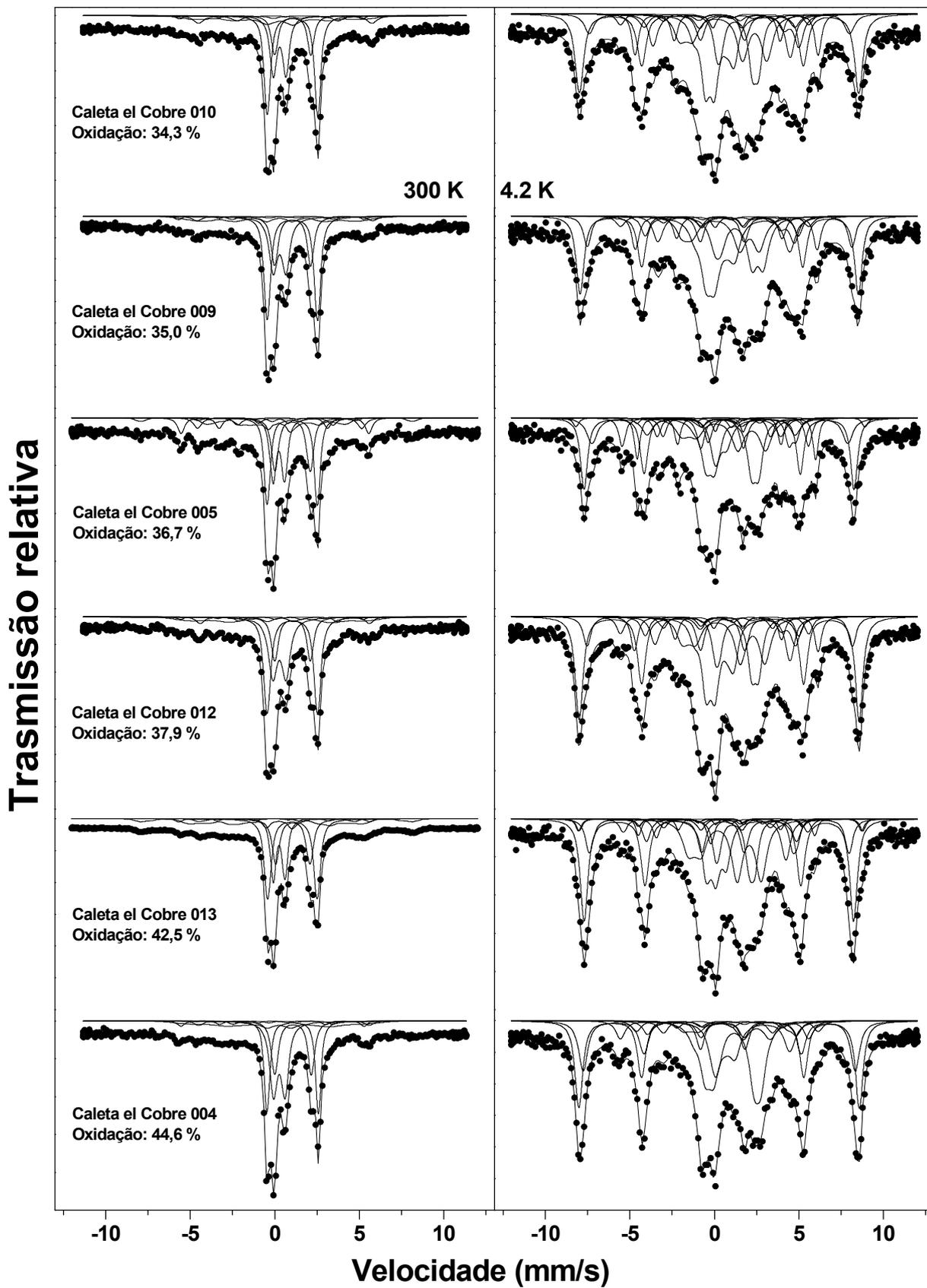
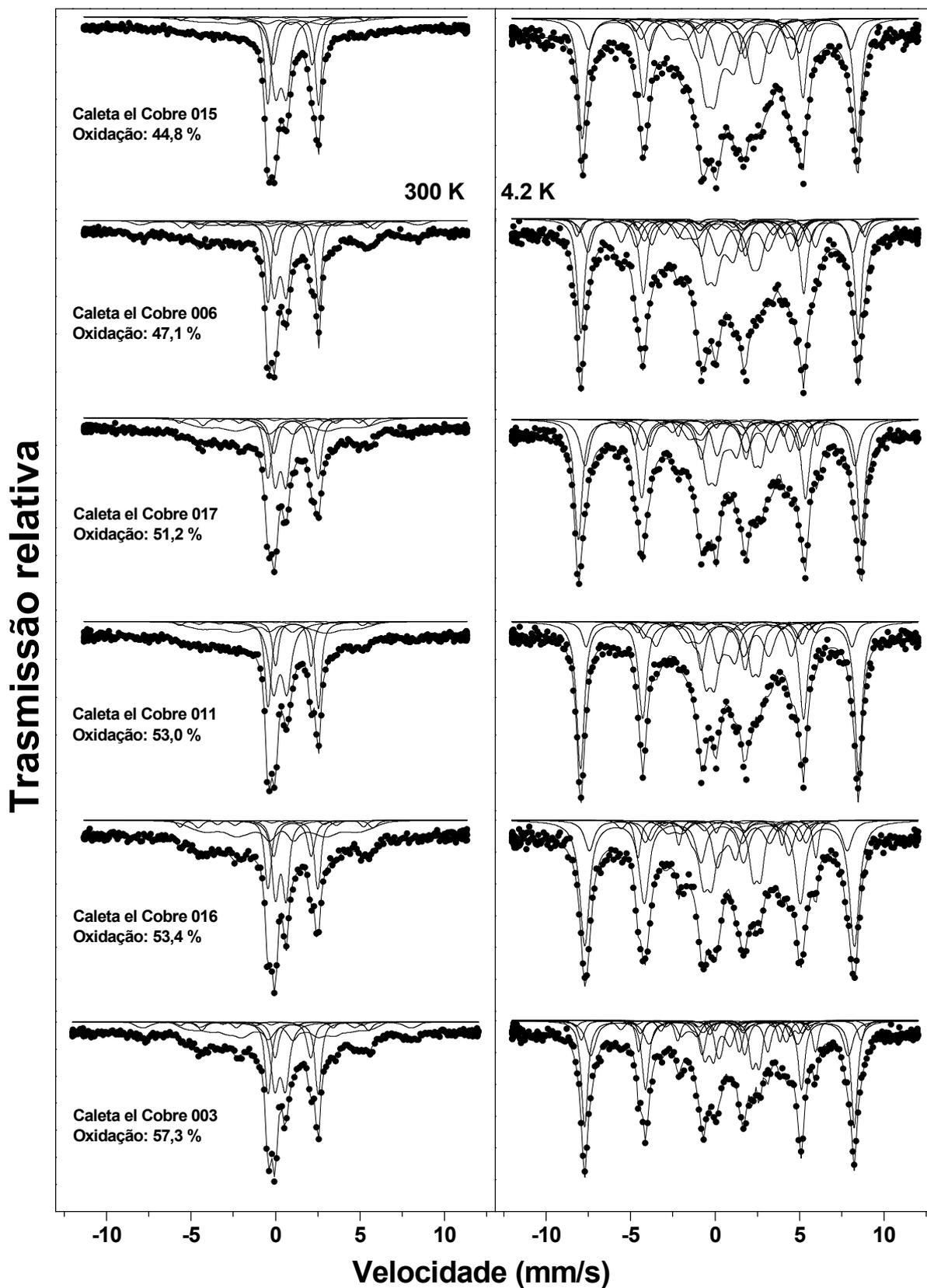


Figura 4.5 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de Caleta el Cobre.



Continuação figura 4.5.



Continuação figura 4.5.

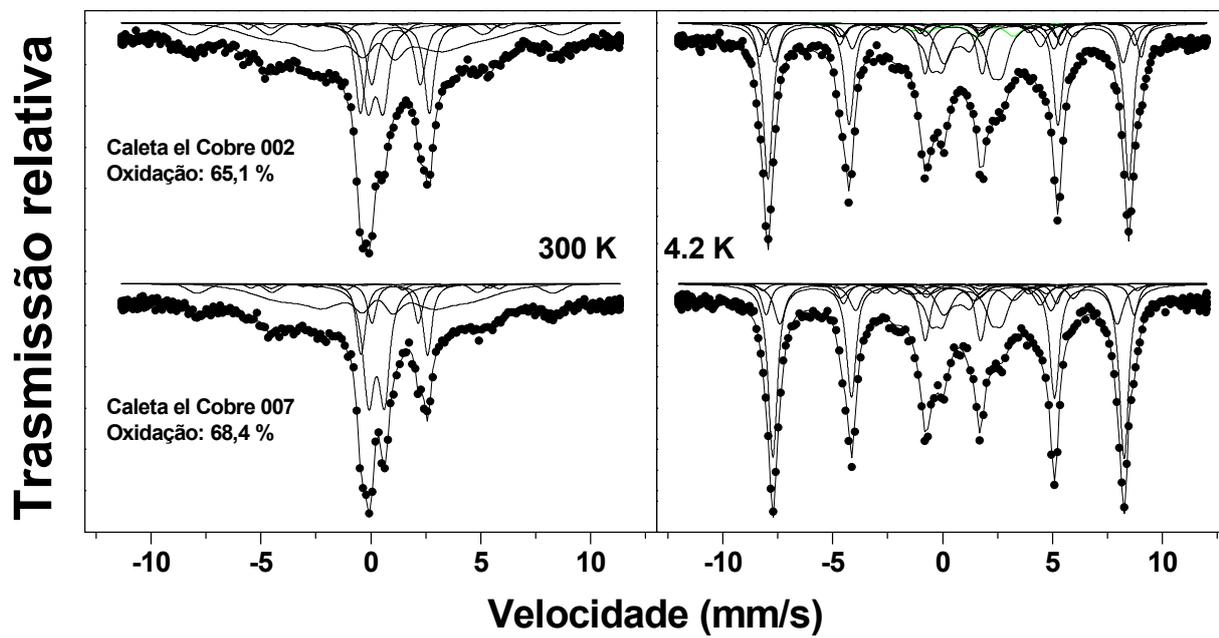
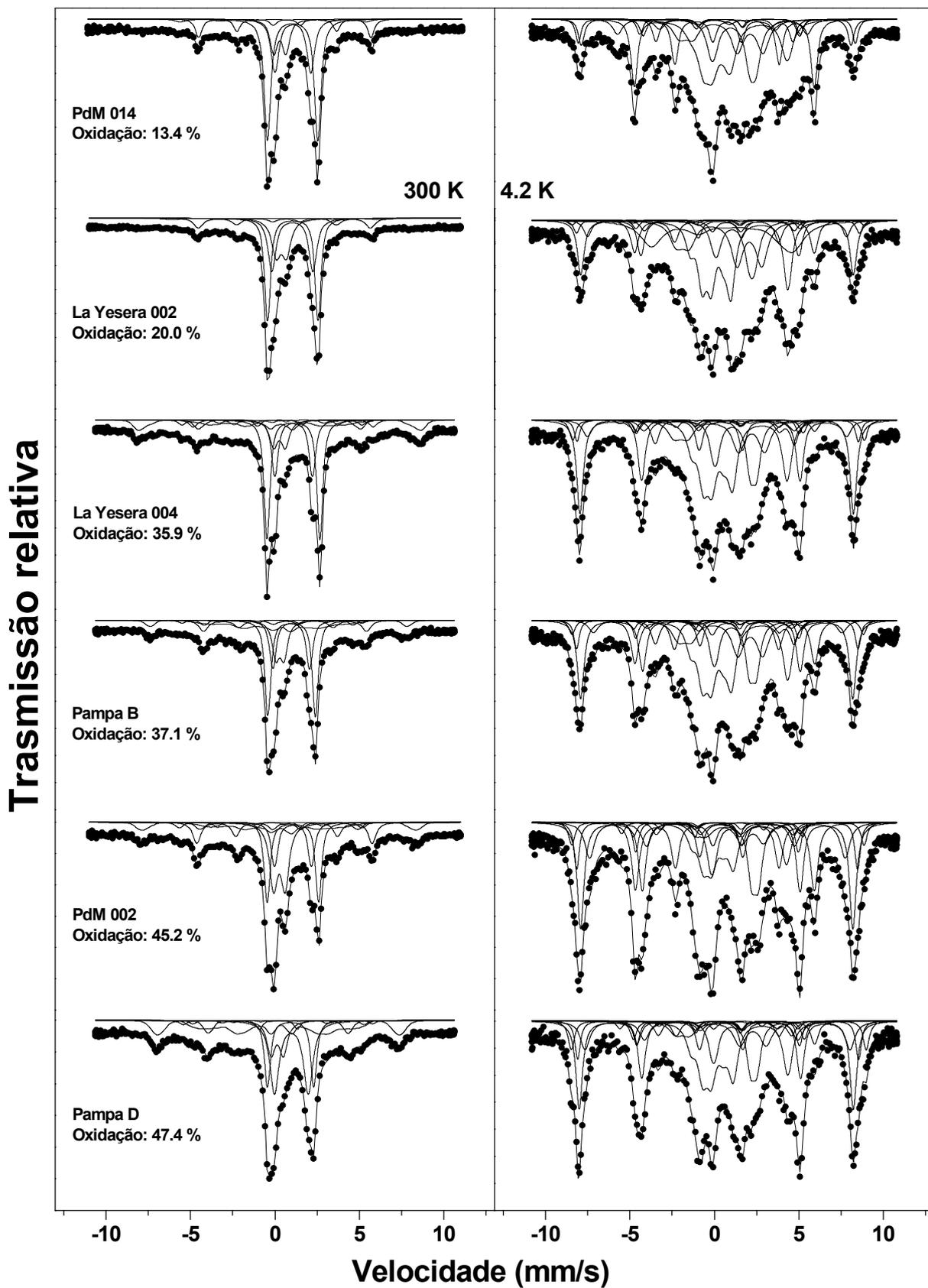


Figura 4.6 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados na área de Pampa de Mejillones.



Continuação figura 4.6.

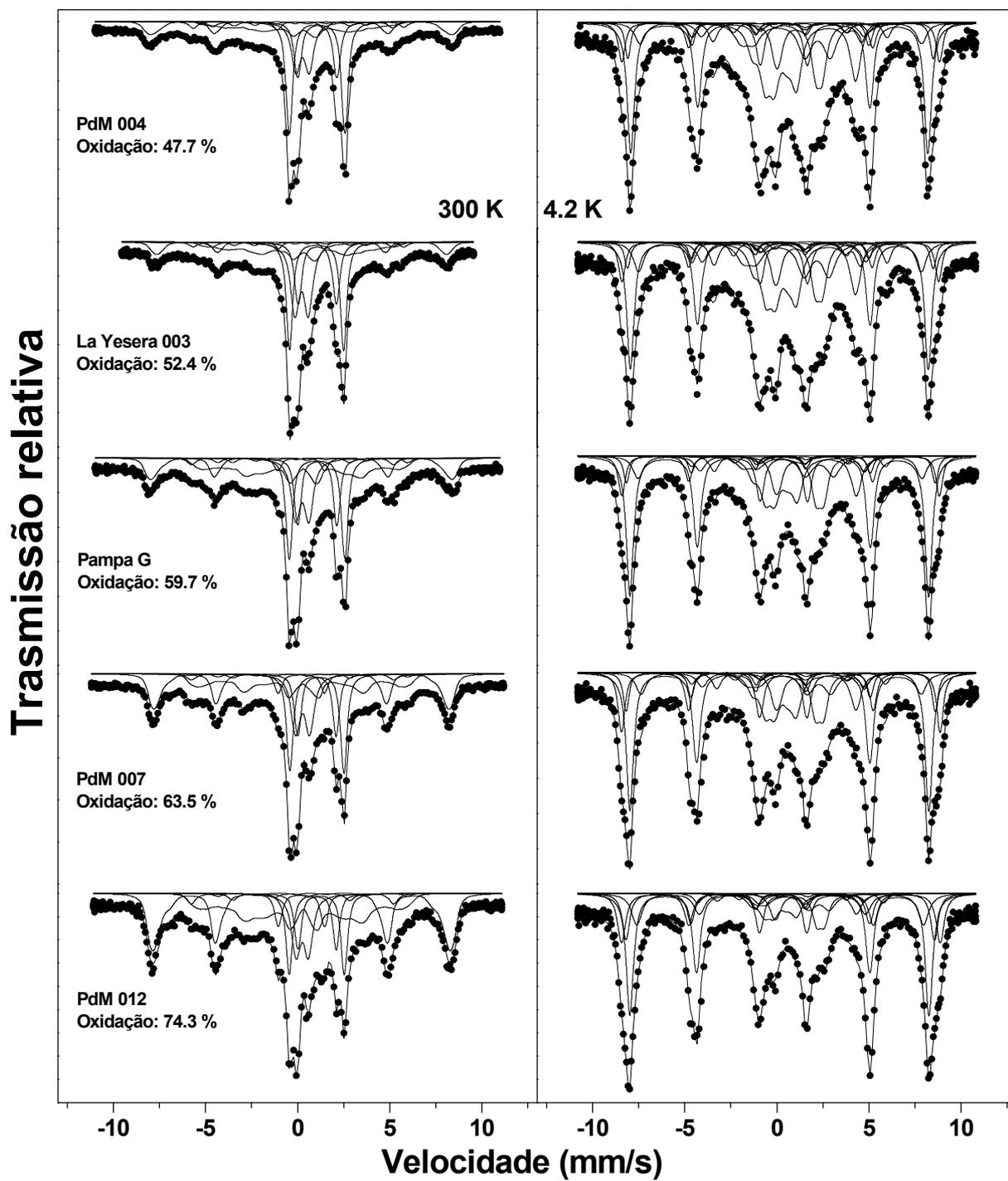


Figura 4.7 – Espectros Mössbauer medidos a 300 K e 4,2 K para meteoritos coletados em Outras Localidades.

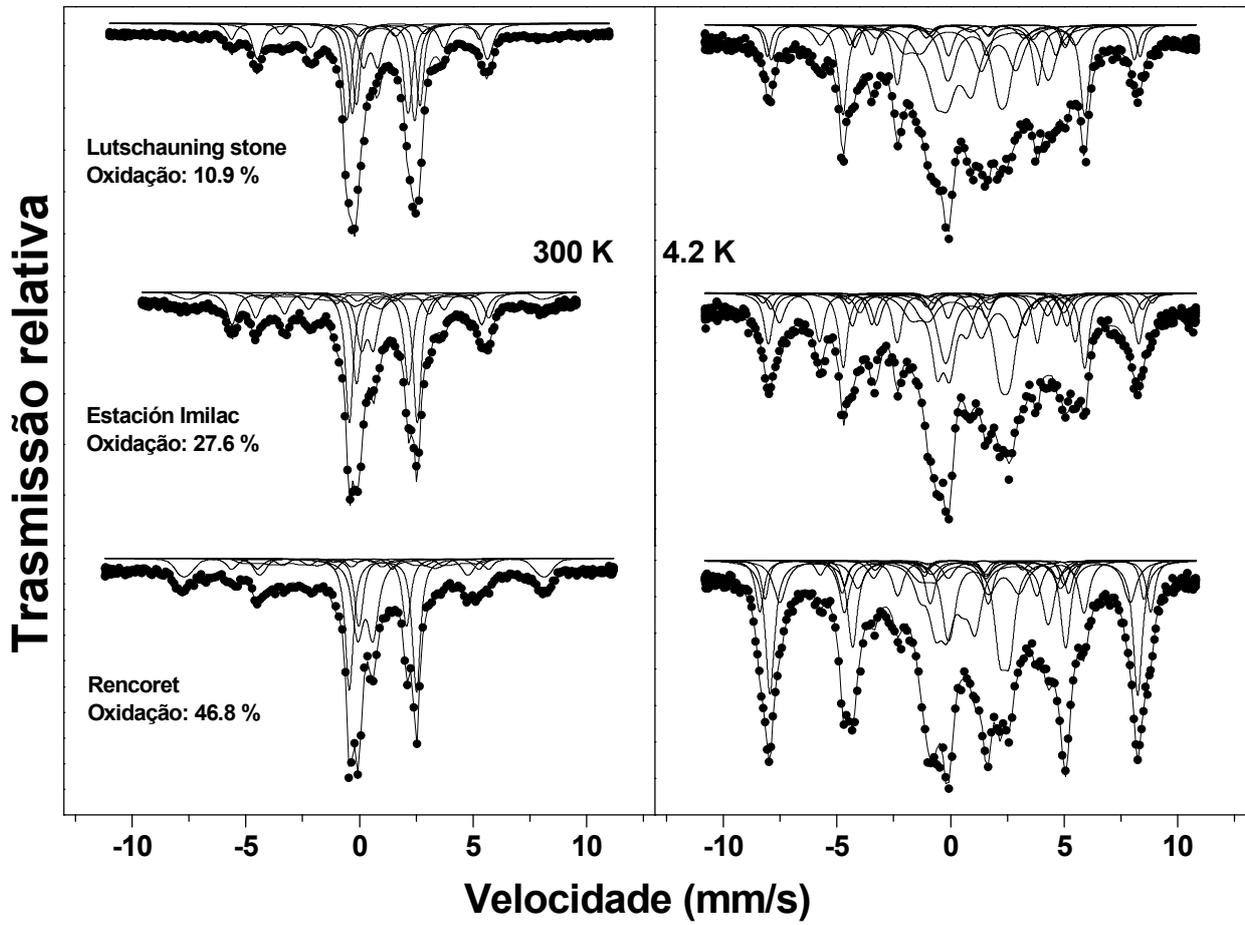


Tabela 4.1 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de San Juan obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
San Juan 031	1.14	2.93	0.35	1.15	2.09	0.35	0.04	-0.05	33.9	0.41	0.75	-0.17	31.2	0.48
San Juan 052	1.15	2.95	0.30	1.12	2.19	0.34	0.02	0.03	33.6	0.38	0.77	-0.14	31.3	0.42
San Juan 059	1.15	2.94	0.32	1.12	2.13	0.32	0.02	0.03	33.6	0.33	0.77	-0.14	31.3	0.51
San Juan 013	1.15	2.94	0.28	1.10	2.18	0.39	0.02	0.03	33.6	0.38	0.77	-0.14	31.3	0.48
San Juan 019	1.15	2.93	0.35	1.15	2.07	0.37	0.04	-0.07	32.6	0.37	0.76	-0.17	31.3	0.41
San Juan 004	1.17	2.99	0.32	1.16	2.20	0.45	0.02	0.03	33.6	0.41	0.78	-0.16	31.6	0.40
San Juan 034	1.14	2.94	0.30	1.14	2.12	0.36	0.02	0.03	33.6	0.38	0.77	-0.14	31.3	0.45
San Juan 056	1.15	2.94	0.32	1.15	2.08	0.32	-0.05	-0.03	32.6	0.38	0.75	-0.12	31.3	0.51
San Juan 054	1.15	2.94	0.31	1.15	2.14	0.38	-0.05	-0.08	32.8	0.35	0.75	0.12	30.4	0.45
San Juan 038	1.14	2.95	0.30	1.14	2.10	0.36	0.02	-0.03	33.6	0.33	0.77	-0.14	31.3	0.47
San Juan 028	1.15	2.94	0.32	1.14	2.09	0.40	0.00	-0.03	33.7	0.35	0.74	-0.17	31.2	0.43
San Juna 033	1.15	2.95	0.35	1.14	2.12	0.36	0.02	0.03	33.6	0.32	0.77	-0.14	31.3	0.48
San Juan 018	1.15	2.91	0.32	1.15	2.08	0.35	0.01	-0.07	32.6	0.37	0.77	-0.13	31.3	0.41
San Juan 008	1.16	2.95	0.31	1.15	2.12	0.45	0.02	0.01	33.6	0.35	0.78	-0.12	31.3	0.45
San Juan 058	1.15	2.94	0.32	1.11	2.18	0.32	0.02	0.03	33.6	0.39	0.77	-0.14	31.3	0.48
San Juan 051	1.15	2.96	0.30	1.14	2.14	0.36	0.02	0.03	33.6	0.38	0.77	-0.14	31.3	0.40
San Juan 022	1.15	2.92	0.30	1.16	2.08	0.37	-0.03	0.13	33.3	0.37	0.77	-0.16	30.6	0.44
San Juan 023	1.16	2.96	0.33	1.15	2.08	0.36	0.01	-0.05	33.5	0.34	0.75	-0.16	31.3	0.45
San Juan 024	1.15	2.93	0.31	1.14	2.10	0.36	-0.05	-0.07	33.3	0.37	0.78	-0.17	30.9	0.47
San Juan 041	1.15	2.94	0.34	1.12	2.18	0.50	0.06	0.09	33.1	0.39	0.75	-0.13	30.5	0.39
San Juan 044	1.15	2.96	0.35	1.15	2.15	0.47	0.00	-0.04	33.6	0.35	0.73	-0.12	31.1	0.45
San Juan 015	1.15	2.96	0.35	1.16	2.11	0.35	-0.04	-0.19	33.5	0.30	0.79	-0.19	31.1	0.46
San Juan 037	1.14	2.94	0.32	1.15	2.08	0.35	0.05	-0.03	33.6	0.35	0.76	-0.16	31.2	0.39
San Juan 049	1.15	2.96	0.30	1.14	2.12	0.36	0.02	0.03	33.6	0.38	0.77	-0.14	31.3	0.48
San Juan 057	1.15	2.91	0.35	1.16	2.02	0.45	0.05	0.09	33.5	0.40	0.76	-0.13	30.5	0.45
San Juan 053	1.15	2.94	0.34	1.11	2.19	0.45	0.06	0.09	33.4	0.39	0.75	-0.13	30.5	0.39

Continuação tabela 4.1(a).

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
San Juan 026	1.13	2.19	0.43	1.15	2.95	0.35	-0.04	-0.08	33.9	0.45	0.68	-0.13	31.2	0.38
San Juan 014	1.17	2.09	0.39	1.16	2.96	0.34	-0.04	-0.09	33.8	0.43	0.68	-0.13	31.2	0.35
San Juan 032	1.15	2.96	0.34	1.13	2.12	0.40	-0.01	-0.07	33.3	0.40	0.77	-0.17	30.7	0.46
San Juan 046	1.15	2.96	0.31	1.15	2.14	0.47	0.04	-0.03	33.6	0.35	0.76	-0.16	31.2	0.38
San Juan 060	1.18	3.04	0.40	1.19	2.12	0.42	0.05	0.09	33.8	0.42	0.66	-0.19	30.5	0.45
San Juan 036	1.15	2.91	0.35	1.14	2.08	0.35	0.06	-0.03	33.6	0.36	0.76	-0.16	31.2	0.38
San Juan 016	1.15	2.97	0.33	1.16	2.10	0.33	-0.02	0.00	33.9	0.41	0.73	-0.11	31.5	0.48
San Juan 039	1.15	2.94	0.35	1.11	2.21	0.49	0.06	0.09	33.7	0.41	0.65	-0.19	30.5	0.42
San Juan 030	1.14	2.95	0.32	1.15	2.09	0.38	0.02	-0.02	33.6	0.45	0.78	-0.17	30.6	0.47
San Juan 048	1.16	2.95	0.35	1.18	2.04	0.35	0.06	0.09	33.4	0.40	0.75	-0.19	29.5	0.40
San Juan 006	1.15	2.95	0.33	1.17	2.11	0.40	0.00	-0.04	33.2	0.40	0.72	-0.18	30.9	0.41
San Juan 007	1.16	3.01	0.33	1.17	2.14	0.41	-0.04	-0.04	33.4	0.40	0.76	-0.14	31.9	0.48
San Juan 017	1.15	2.96	0.34	1.16	2.09	0.38	-0.02	-0.01	33.6	0.50	0.77	-0.12	31.0	0.54
San Juan 029	1.15	2.94	0.35	1.15	2.08	0.34	0.06	-0.05	33.6	0.45	0.69	-0.17	29.9	0.56
San Juan 012	1.16	2.98	0.33	1.18	2.10	0.40	0.05	-0.08	33.4	0.40	0.73	-0.12	31.5	0.47
San Juan 055	1.16	2.96	0.31	1.11	2.22	0.41	0.05	0.09	33.7	0.40	0.69	-0.19	30.5	0.45
San Juan 011	1.16	2.97	0.33	1.17	2.11	0.40	0.00	-0.05	33.1	0.38	0.71	0.17	31.6	0.52
San Juan 027	1.15	2.96	0.31	1.14	2.11	0.36	0.04	-0.07	33.6	0.40	0.63	-0.15	32.0	0.46
San Juan 020	1.15	2.97	0.33	1.15	2.07	0.38	0.01	-0.06	33.8	0.45	0.75	0.18	30.1	0.52
San Juan 010	1.14	2.95	0.33	1.16	2.09	0.39	0.00	-0.05	33.8	0.38	0.77	-0.14	32.1	0.51
San Juan 003	1.16	3.01	0.35	1.18	2.10	0.35	-0.06	0.06	33.8	0.47	0.76	-0.11	32.0	0.53
San Juan 021	1.15	2.96	0.32	1.15	2.10	0.32	-0.09	0.03	33.4	0.34	0.72	-0.15	31.1	0.50
San Juan 005	1.16	3.00	0.33	1.15	2.13	0.40	0.00	-0.05	33.8	0.39	0.77	-0.14	32.1	0.46
San Juan 045	1.15	2.94	0.32	1.08	2.24	0.48	0.06	0.09	33.9	0.38	0.75	-0.19	30.5	0.42
San Juan 025	1.15	2.96	0.33	1.17	2.06	0.40	0.07	-0.02	33.7	0.41	0.72	0.18	32.6	0.48
San Juan 062	1.06	3.06	0.55	1.11	2.14	0.58	-0.01	-0.02	33.5	0.40	0.70	0.08	32.6	0.50

Continuação tabela 4.1(a).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO										
	Fe3+			Goethita				Maghemita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
San Juan 031	0.38	0.78	0.44	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 052	0.47	0.58	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 059	0.45	0.60	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 013	0.45	0.64	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 019	0.41	0.71	0.55	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 004	0.41	0.69	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 034	0.45	0.68	0.60	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 056	0.37	0.75	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 054	0.36	0.74	0.65	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 038	0.37	0.71	0.55	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 028	0.38	0.71	0.50	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juna 033	0.39	0.70	0.65	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 018	0.40	0.68	0.55	--	--	--	--	0.28	0.09	50.0	0.35
San Juan 008	0.40	0.63	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 058	0.45	0.57	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 051	0.40	0.70	0.50	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 022	0.36	0.74	0.55	--	--	--	--	0.31	0.08	49.3	0.34
San Juan 023	0.36	0.68	0.45	--	--	--	--	0.28	0.01	47.6	0.32
San Juan 024	0.41	0.72	0.55	--	--	--	--	0.27	0.01	49.7	0.39
San Juan 041	0.42	0.57	0.30	0.38	-0.19	27.8	0.30	0.32	-0.02	49.3	0.34
San Juan 044	0.38	0.65	0.45	0.33	-0.19	29.1	0.30	--	--	--	--
San Juan 015	0.35	0.73	0.56	0.28	-0.16	27.0	0.30	0.35	0.10	49.4	0.35
San Juan 037	0.35	0.70	0.52	0.34	-0.19	29.2	0.30	--	--	--	--
San Juan 049	0.38	0.67	0.55	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 057	0.37	0.67	0.30	0.31	-0.19	28.3	0.30	0.32	-0.02	48.7	0.33
San Juan 053	0.41	0.59	0.30	0.20	-0.19	31.0	0.30	0.34	-0.02	48.0	0.35

Continuação tabela 4.1(a).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO										
	Fe3+			Goethita				Maghemita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
San Juan 026	0.41	0.60	0.40	0.37	-0.14	33.2	0.30	--	--	--	--
San Juan 014	0.37	0.66	0.41	0.43	-0.15	32.3	0.30	0.34	0.02	50.6	0.34
San Juan 032	0.39	0.61	0.41	0.38	-0.18	29.9	0.30	0.30	0.00	48.7	0.35
San Juan 046	0.38	0.68	0.52	0.32	-0.19	31.4	0.30	--	--	--	--
San Juan 060	0.37	0.68	0.35	0.28	-0.19	31.6	0.30	0.32	-0.02	49.1	0.35
San Juan 036	0.38	0.62	0.40	0.28	-0.19	30.1	0.30	--	--	--	--
San Juan 016	0.36	0.63	0.45	0.35	-0.16	29.4	0.30	0.33	-0.02	50.0	0.34
San Juan 039	0.41	0.56	0.30	0.24	-0.19	31.1	0.30	0.22	-0.02	48.5	0.38
San Juan 030	0.37	0.69	0.50	0.38	-0.16	32.1	0.30	0.30	0.04	49.4	0.30
San Juan 048	0.36	0.68	0.30	0.24	-0.19	31.9	0.30	0.22	-0.02	48.7	0.34
San Juan 006	0.34	0.68	0.51	0.35	-0.17	31.6	0.30	0.40	0.01	48.3	0.36
San Juan 007	0.38	0.65	0.51	0.35	-0.17	28.1	0.30	0.34	0.01	49.6	0.32
San Juan 017	0.34	0.64	0.51	0.38	-0.16	27.1	0.30	0.28	0.01	49.0	0.34
San Juan 029	0.35	0.68	0.53	0.38	-0.16	29.3	0.30	0.19	0.01	49.4	0.35
San Juan 012	0.35	0.70	0.51	0.35	-0.17	28.2	0.30	0.31	0.01	49.3	0.31
San Juan 055	0.41	0.55	0.30	0.16	-0.19	31.0	0.30	0.22	-0.02	48.1	0.30
San Juan 011	0.36	0.67	0.51	0.35	-0.17	31.1	0.30	0.32	0.01	49.7	0.33
San Juan 027	0.38	0.59	0.40	0.37	-0.14	29.5	0.30	0.33	0.00	48.4	0.34
San Juan 020	0.37	0.67	0.52	0.38	-0.16	31.7	0.30	0.29	0.01	49.0	0.30
San Juan 010	0.35	0.68	0.51	0.35	-0.17	33.0	0.30	0.34	0.01	49.0	0.35
San Juan 003	0.36	0.66	0.52	0.31	-0.22	30.4	0.30	0.27	0.01	49.6	0.39
San Juan 021	0.36	0.66	0.58	0.34	-0.13	33.0	0.30	0.30	0.02	49.2	0.35
San Juan 005	0.38	0.66	0.51	0.35	-0.17	32.6	0.30	0.33	0.01	49.4	0.35
San Juan 045	0.41	0.57	0.30	0.29	-0.19	31.8	0.30	0.32	-0.02	49.2	0.31
San Juan 025	0.35	0.69	0.51	0.35	-0.17	32.5	0.30	0.39	0.01	48.8	0.35
San Juan 062	0.34	0.66	0.52	0.30	-0.06	28.0	0.40	0.24	0.01	50.0	0.35

Continuação tabela 4.1(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
San Juan 031	0.85	2.69	4.8	7.6	0.58	1.13	2.35	13.6	0.2	0.37	1.25	2.70	1.3	0.15	0.44	1.23	-0.74	24.5	0.40	0.32	0.12	-0.08	34.1	0.61	0.92	-0.20	32.8	0.45
San Juan 052	0.31	3.06	4.9	4.0	0.32	1.36	3.11	10.0	3.5	0.32	1.34	2.48	1.2	0.91	0.48	1.10	-0.88	25.2	0.44	0.35	0.09	-0.06	33.7	0.58	0.92	-0.20	32.8	0.42
San Juan 059	0.42	3.27	4.9	4.0	0.35	1.40	3.16	9.9	3.5	0.35	1.38	2.45	1.2	0.91	0.45	1.14	-0.87	24.7	0.44	0.32	0.14	-0.06	33.7	0.44	0.92	-0.20	32.8	0.40
San Juan 013	0.53	3.17	4.9	3.0	0.31	1.36	2.93	10.3	3.0	0.33	1.32	2.33	1.2	0.91	0.46	1.12	-0.67	24.6	0.44	0.35	0.18	-0.03	33.9	0.48	0.90	-0.17	32.6	0.42
San Juan 019	0.50	3.28	4.5	3.0	0.34	1.34	3.08	10.1	3.0	0.34	1.39	2.36	1.2	0.91	0.51	1.16	-0.74	24.9	0.44	0.33	0.17	-0.03	34.3	0.52	0.92	-0.20	33.0	0.45
San Juan 004	0.66	3.45	1.1	11.0	0.32	1.28	3.04	10.5	1.0	0.36	1.12	1.86	2.5	0.91	0.45	1.11	-1.12	25.5	3.00	0.34	0.18	-0.03	33.9	0.46	0.90	-0.18	33.1	0.42
San Juan 034	0.53	3.36	5.9	4.0	0.35	1.38	3.27	10.6	3.5	0.33	1.34	2.50	1.4	0.91	0.52	1.18	-1.08	23.4	0.44	0.35	0.14	0.08	33.7	0.52	0.92	-0.20	32.8	0.52
San Juan 056	0.41	3.50	4.6	4.0	0.38	1.38	3.03	10.1	3.5	0.47	1.37	2.35	1.2	0.91	0.43	1.22	-0.72	24.5	0.44	0.47	0.30	-0.05	33.7	0.51	0.92	-0.25	32.7	0.40
San Juan 054	0.29	3.49	5.9	4.0	0.31	1.45	3.18	9.8	3.5	0.35	1.40	2.39	1.0	0.91	0.49	1.20	-0.72	25.2	0.44	0.35	0.27	-0.09	34.7	0.52	0.93	-0.26	32.5	0.55
San Juan 038	0.97	2.75	7.5	4.0	0.35	1.32	3.41	9.5	3.5	0.32	1.32	2.58	1.5	0.91	0.52	1.28	-0.77	26.6	0.44	0.32	0.14	0.05	33.7	0.64	0.92	-0.20	32.8	0.40
San Juan 028	0.63	3.69	5.4	3.0	0.36	1.40	2.98	10.1	3.0	0.35	1.37	2.55	1.4	0.91	0.48	1.22	-0.70	25.6	0.44	0.35	0.15	-0.04	34.0	0.55	0.92	-0.18	33.1	0.33
San Juan033	0.64	3.37	7.6	4.0	0.34	1.33	3.28	9.4	3.5	0.35	1.34	2.49	1.5	0.91	0.47	1.18	-0.71	25.0	0.44	0.32	0.14	0.03	33.7	0.55	0.92	-0.20	32.8	0.41
San Juan 018	0.45	3.83	4.4	4.5	0.31	1.37	3.03	9.8	3.5	0.35	1.41	2.37	1.4	0.71	0.52	1.18	-0.79	25.3	0.34	0.34	0.22	-0.02	34.5	0.64	0.91	-0.13	32.6	0.58
San Juan 008	0.30	3.49	3.9	11.0	0.35	1.25	3.13	10.3	1.0	0.47	1.11	1.97	2.6	0.91	0.51	1.11	-1.12	27.9	3.00	0.31	0.18	-0.02	33.9	0.43	0.90	-0.17	32.6	0.41
San Juan 058	0.24	3.41	4.5	4.0	0.33	1.39	3.28	10.5	3.5	0.35	1.30	2.34	0.9	0.91	0.50	1.13	-1.30	25.2	0.44	0.35	0.09	-0.04	33.7	0.48	0.92	-0.20	32.8	0.43
San Juan 051	0.33	2.84	4.6	4.0	0.32	1.31	3.21	10.3	3.5	0.34	1.38	2.56	1.3	0.91	0.48	1.13	-0.58	25.1	0.44	0.31	0.14	-0.04	33.7	0.52	0.92	-0.20	32.8	0.40
San Juan 022	0.53	3.73	4.8	3.0	0.35	1.39	3.12	10.4	3.0	0.33	1.38	2.38	1.2	0.91	0.52	1.18	-0.89	25.0	0.44	0.35	0.17	-0.07	34.9	0.52	0.93	-0.16	33.2	0.48
San Juan 023	0.58	3.52	4.7	5.0	0.30	1.39	3.05	10.1	1.8	0.38	1.40	2.49	1.3	0.51	0.47	1.25	-0.73	25.2	0.24	0.36	0.14	-0.06	34.5	0.48	0.93	-0.19	33.0	0.51
San Juan 024	0.45	3.77	4.5	3.0	0.31	1.37	3.09	10.2	3.0	0.35	1.40	2.39	1.2	0.91	0.45	1.22	-0.90	25.2	0.44	0.34	0.17	-0.02	34.7	0.62	0.92	-0.10	32.6	0.47
San Juan 041	0.41	3.62	5.0	2.5	0.34	1.10	2.67	11.1	1.5	0.34	1.30	2.14	1.3	0.20	0.49	1.33	-1.37	26.2	0.40	0.38	0.58	-0.08	33.0	0.57	0.93	-0.18	32.9	0.43
San Juan 044	0.55	2.73	4.7	4.0	0.33	1.20	3.19	10.5	3.5	0.42	1.36	2.56	1.2	0.91	0.52	1.09	-0.57	24.9	0.44	0.31	0.14	-0.04	33.7	0.53	0.92	-0.20	32.8	0.42
San Juan 015	0.37	3.98	4.5	3.0	0.35	1.39	3.09	10.3	3.0	0.37	1.36	2.28	1.1	0.91	0.54	1.04	-0.74	26.5	0.44	0.35	0.17	-0.03	34.9	0.61	0.93	-0.19	32.9	0.51
San Juan 037	0.26	3.59	4.8	4.0	0.34	1.31	3.15	9.6	3.5	0.32	1.38	2.55	1.4	0.91	0.51	1.02	-0.81	25.3	0.44	0.36	0.14	-0.02	33.7	0.58	0.92	-0.20	32.8	0.45
San Juan 049	0.43	2.73	4.8	4.0	0.34	1.30	3.20	9.9	3.5	0.32	1.37	2.57	1.5	0.91	0.50	1.01	-0.45	24.7	0.44	0.34	0.14	-0.04	33.7	0.61	0.92	-0.20	32.8	0.43
San Juan 057	0.53	3.51	5.4	2.5	0.31	1.22	2.77	10.5	1.5	0.31	1.36	2.16	1.1	0.20	0.40	1.36	-1.46	25.1	0.40	0.31	0.34	-0.10	34.5	0.53	0.91	-0.18	33.1	0.46
San Juan 053	0.54	3.40	5.0	2.5	0.30	1.09	2.37	9.3	1.5	0.30	1.35	2.24	1.1	0.20	0.40	1.67	-1.21	25.6	0.40	0.35	0.15	-0.02	34.2	0.52	0.92	-0.18	33.2	0.30

Continuação tabela 4.1(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
San Juan 026	0.48	3.64	4.7	2.0	0.50	1.34	3.09	10.4	2.0	0.35	1.42	2.19	1.3	0.91	0.35	1.32	-0.84	25.3	0.94	0.50	0.25	-0.03	33.9	0.51	0.90	-0.19	32.8	0.35
San Juan 014	0.32	3.41	4.9	3.0	0.33	1.34	3.08	10.2	3.0	0.32	1.40	2.19	1.3	0.91	0.52	1.06	-0.66	25.6	0.44	0.34	0.38	-0.05	33.8	0.52	1.05	-0.28	32.2	0.39
San Juan 032	0.65	3.59	4.5	3.0	0.34	1.38	3.03	10.2	1.7	0.35	1.40	2.39	1.4	0.15	0.40	1.38	-1.05	25.4	0.44	0.38	0.33	-0.05	34.7	0.64	0.93	-0.16	32.8	0.54
San Juan 046	0.60	2.49	4.3	4.0	0.31	1.26	3.28	10.0	3.5	0.33	1.35	2.59	1.5	0.91	0.48	1.04	-0.68	25.3	0.44	0.31	0.14	-0.06	33.7	0.55	0.92	-0.20	32.8	0.45
San Juan 060	0.47	3.52	4.8	2.5	0.32	1.12	2.35	9.8	1.5	0.34	1.34	2.25	1.1	0.20	0.48	1.52	-1.27	25.5	0.40	0.35	0.17	-0.08	34.4	0.58	0.90	-0.18	32.5	0.52
San Juan 036	0.27	3.34	5.1	4.0	0.38	1.39	3.17	10.2	3.5	0.35	1.36	2.29	1.4	0.91	0.47	0.92	-1.06	25.1	0.44	0.36	0.14	-0.04	33.7	0.44	0.92	-0.20	32.8	0.43
San Juan 016	0.71	3.07	5.4	3.7	0.34	1.09	2.44	10.3	3.7	0.33	1.39	2.21	1.2	0.30	0.43	1.48	-1.39	25.4	0.88	0.34	0.29	-0.16	34.5	0.48	0.92	-0.16	32.8	0.49
San Juan 039	0.34	3.67	4.9	2.5	0.33	1.28	2.72	12.2	1.5	0.35	1.21	2.30	1.2	0.20	0.38	1.32	-1.19	26.4	0.40	0.35	0.18	-0.08	34.6	0.52	0.92	-0.18	33.2	0.48
San Juan 030	0.71	3.66	5.1	3.0	0.34	1.40	2.97	9.9	1.7	0.35	1.38	2.46	1.3	0.15	0.51	1.24	-0.78	24.9	0.44	0.47	0.13	0.00	34.6	0.46	0.93	-0.14	32.9	0.48
San Juan 048	0.88	2.90	4.6	2.5	0.33	1.18	2.81	12.2	1.5	0.47	1.31	2.42	1.2	0.20	0.48	1.52	-1.26	26.5	0.40	0.35	0.14	-0.08	34.7	0.52	0.92	-0.18	32.8	0.42
San Juan 006	0.48	3.57	4.4	3.0	0.35	1.26	3.02	10.1	1.9	0.35	1.26	2.45	1.3	0.15	0.48	1.05	-0.79	24.8	0.44	0.32	0.01	-0.09	32.7	0.51	0.80	-0.17	32.9	0.48
San Juan 007	0.64	3.47	4.9	3.0	0.33	1.28	3.02	10.2	1.9	0.32	1.26	2.48	1.4	0.15	0.50	1.08	-0.74	25.6	0.44	0.35	0.23	-0.19	34.1	0.52	0.81	-0.20	33.1	0.51
San Juan 017	0.66	3.21	5.4	3.0	0.35	1.30	2.67	11.5	1.9	0.30	1.28	2.41	1.1	0.15	0.48	1.10	-0.74	25.5	0.44	0.32	0.30	0.05	34.3	0.53	0.90	-0.23	32.6	0.49
San Juan 029	0.70	3.64	4.7	3.0	0.32	1.39	2.99	10.2	1.7	0.31	1.39	2.45	1.3	0.15	0.50	1.27	-0.77	25.0	0.44	0.34	0.13	-0.04	34.5	0.61	0.92	-0.20	32.5	0.40
San Juan 012	0.42	3.68	5.0	3.0	0.38	1.23	3.04	10.4	1.9	0.35	1.26	2.45	1.4	0.15	0.45	1.06	-0.90	25.5	0.44	0.35	0.28	-0.19	34.9	0.58	0.79	-0.23	33.2	0.39
San Juan 055	0.53	3.49	4.9	2.5	0.37	1.11	2.31	10.3	1.5	0.36	1.31	2.41	1.6	0.20	0.45	1.49	-1.26	26.1	0.40	0.35	0.23	-0.06	34.7	0.61	0.92	-0.18	33.1	0.38
San Juan 011	0.65	3.47	3.8	3.0	0.33	1.36	3.00	9.9	1.9	0.34	1.26	2.44	1.3	0.15	0.39	1.26	-0.72	26.0	0.44	0.32	0.22	-0.09	34.5	0.62	0.80	-0.12	31.9	0.60
San Juan 027	0.90	2.70	5.1	4.0	0.52	1.14	2.53	13.3	0.5	0.33	1.20	2.72	1.4	0.50	0.52	0.99	-0.82	25.4	0.54	0.35	0.03	-0.03	33.9	0.57	0.89	-0.27	33.1	0.37
San Juan 020	0.73	3.51	4.5	3.0	0.36	1.40	3.03	10.0	1.9	0.35	1.39	2.48	1.3	0.15	0.43	1.23	-0.77	25.5	0.44	0.33	0.11	-0.09	34.5	0.53	0.88	-0.22	32.9	0.58
San Juan 010	0.59	3.47	3.6	3.0	0.35	1.30	3.08	9.8	1.9	0.42	1.28	2.43	1.3	0.15	0.52	1.14	-1.05	25.2	0.44	0.34	0.22	-0.09	34.5	0.44	0.80	-0.12	31.9	0.61
San Juan 003	0.80	3.04	4.3	3.0	0.35	1.27	3.08	9.9	1.9	0.36	1.27	2.48	1.2	0.15	0.40	1.08	-0.74	25.5	1.00	0.35	0.01	-0.07	34.7	0.48	0.80	-0.15	33.0	0.48
San Juan 021	0.88	2.69	4.8	4.5	0.35	1.16	2.59	13.2	1.0	0.35	1.22	2.61	1.4	1.39	0.38	1.08	-0.72	27.8	0.81	0.33	0.14	0.00	34.0	0.52	0.90	-0.21	33.7	0.45
San Juan 005	0.55	3.40	3.9	3.0	0.33	1.42	3.13	9.9	1.9	0.32	1.43	2.43	1.3	0.15	0.41	1.22	-0.87	25.9	0.44	0.35	0.22	-0.09	34.5	0.46	0.92	-0.15	33.4	0.42
San Juan 045	0.59	3.35	5.0	2.5	0.39	1.16	2.62	12.5	1.5	0.33	1.27	2.30	1.4	0.20	0.58	1.56	-1.22	27.4	0.40	0.70	0.35	-0.08	34.2	0.52	0.90	-0.18	33.4	0.46
San Juan 025	0.74	3.44	5.5	3.0	0.34	1.40	3.11	10.0	1.9	0.30	1.39	2.41	1.5	0.15	0.50	1.33	-0.75	24.1	0.44	0.35	0.22	-0.02	34.5	0.51	0.88	-0.22	32.9	0.55
San Juan 062	0.63	3.44	5.5	3.0	0.30	1.39	3.11	10.0	1.9	0.30	1.37	2.41	1.5	1.15	0.50	1.31	-0.75	24.1	1.44	0.35	0.12	-0.19	34.5	0.60	0.97	-0.22	32.9	0.60

Continuação tabela 4.1(b).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
San Juan 031	0.51	-0.12	49.5	0.45	0.46	-0.25	50.7	0.51	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 052	0.50	-0.19	47.0	0.42	0.53	-0.21	50.0	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 059	0.50	-0.26	47.7	0.41	0.52	-0.26	50.7	0.48	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 013	0.53	-0.25	47.1	0.48	0.52	-0.23	50.4	0.52	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 019	0.50	-0.19	47.5	0.47	0.50	-0.20	50.5	0.51	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 004	0.25	-0.20	49.4	0.51	0.49	-0.19	50.6	0.48	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 034	0.48	-0.12	47.5	0.48	0.51	-0.23	50.1	0.46	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 056	0.51	-0.27	47.9	0.42	0.52	-0.22	50.3	0.43	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 054	0.50	-0.27	48.1	0.45	0.51	-0.22	50.6	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 038	0.56	-0.19	47.3	0.53	0.51	-0.19	50.0	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 028	0.49	-0.20	47.5	0.55	0.51	-0.20	50.4	0.51	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan033	0.52	-0.18	47.7	0.53	0.50	-0.20	50.4	0.52	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 018	0.52	-0.22	48.5	0.51	0.53	-0.23	50.2	0.39	0.39	-0.01	53.8	0.40	0.47	0.00	52.6	0.40
San Juan 008	0.48	-0.20	49.4	0.50	0.52	-0.19	50.6	0.37	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 058	0.47	-0.15	48.1	0.51	0.49	-0.18	50.4	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 051	0.55	-0.25	48.7	0.48	0.53	-0.26	50.8	0.39	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 022	0.53	-0.17	48.7	0.46	0.51	-0.23	50.8	0.41	0.46	-0.01	53.6	0.39	0.41	0.00	51.9	0.38
San Juan 023	0.53	-0.20	48.4	0.50	0.52	-0.27	50.2	0.45	0.50	-0.01	53.8	0.41	0.45	0.00	51.4	0.42
San Juan 024	0.51	-0.16	48.6	0.51	0.51	-0.24	50.5	0.37	0.46	-0.01	54.1	0.40	0.42	0.00	51.9	0.45
San Juan 041	0.45	-0.13	48.8	0.61	0.56	-0.34	50.5	0.55	0.49	-0.01	53.1	0.45	0.48	0.00	52.1	0.52
San Juan 044	0.53	-0.23	48.3	0.55	0.55	-0.30	50.8	0.52	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 015	0.53	-0.17	48.7	0.53	0.51	-0.22	50.2	0.47	0.46	-0.01	53.6	0.38	0.41	0.00	51.9	0.46
San Juan 037	0.47	-0.18	47.7	0.45	0.47	-0.19	50.2	0.48	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 049	0.50	-0.22	48.4	0.52	0.51	-0.24	50.4	0.43	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 057	0.56	-0.13	47.2	0.50	0.52	-0.27	50.4	0.51	0.49	-0.01	52.1	0.38	0.48	0.00	51.7	0.42
San Juan 053	0.48	-0.13	47.9	0.50	0.52	-0.24	50.7	0.40	0.49	-0.01	52.7	0.45	0.48	0.00	51.7	0.45

Continuação tabela 4.1(b).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
San Juan 026	0.46	-0.21	49.1	0.58	0.50	-0.23	50.5	0.48	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 014	0.53	-0.17	47.4	0.65	0.49	-0.21	50.2	0.50	0.46	-0.01	53.6	0.38	0.41	0.00	51.9	0.40
San Juan 032	0.53	-0.17	48.7	0.62	0.51	-0.24	50.3	0.45	0.49	-0.01	53.2	0.40	0.46	0.00	51.6	0.40
San Juan 046	0.50	-0.24	48.5	0.40	0.51	-0.24	50.6	0.46	--	-	-	-	--	-	--	--
San Juan 060	0.42	-0.13	46.9	0.58	0.49	-0.22	50.3	0.48	0.49	-0.01	53.1	0.35	0.48	0.00	51.7	0.35
San Juan 036	0.46	-0.16	48.1	0.40	0.50	-0.21	50.0	0.52	--	--	--	--	--	--	--	--
San Juan 016	0.49	-0.14	48.1	0.48	0.51	-0.22	50.6	0.51	0.49	-0.01	54.1	0.35	0.48	0.00	52.9	0.35
San Juan 039	0.46	-0.13	49.3	0.55	0.50	-0.21	50.8	0.53	0.49	-0.01	53.1	0.55	0.48	0.00	52.7	0.30
San Juan 030	0.50	-0.14	48.0	0.63	0.50	-0.22	50.2	0.48	0.49	-0.01	53.6	0.40	0.49	0.00	51.9	0.40
San Juan 048	0.49	-0.13	47.8	0.60	0.50	-0.20	50.2	0.46	0.49	-0.01	53.1	0.35	0.48	0.00	52.7	0.35
San Juan 006	0.54	-0.24	48.6	0.54	0.47	-0.22	50.5	0.47	0.40	-0.01	53.9	0.30	0.44	0.00	52.5	0.30
San Juan 007	0.44	-0.19	48.6	0.50	0.46	-0.22	50.4	0.42	0.41	-0.01	53.8	0.33	0.43	0.00	52.4	0.30
San Juan 017	0.48	-0.19	47.3	0.57	0.50	-0.20	50.1	0.52	0.52	-0.01	53.7	0.40	0.48	0.00	51.7	0.40
San Juan 029	0.48	-0.15	48.1	0.65	0.51	-0.23	50.2	0.48	0.52	-0.01	53.7	0.42	0.48	0.00	51.7	0.40
San Juan 012	0.54	-0.20	48.5	0.48	0.46	-0.22	50.3	0.46	0.48	-0.01	53.5	0.33	0.44	0.00	52.0	0.30
San Juan 055	0.46	-0.13	48.5	0.50	0.50	-0.23	50.3	0.45	0.49	-0.01	52.7	0.45	0.48	0.00	51.7	0.45
San Juan 011	0.51	-0.16	49.5	0.47	0.48	-0.17	50.9	0.42	0.48	-0.01	53.9	0.32	0.32	0.00	52.8	0.30
San Juan 027	0.47	-0.12	49.5	0.45	0.49	-0.15	50.6	0.48	0.52	-0.01	53.0	0.55	0.45	-0.07	51.9	0.35
San Juan 020	0.53	-0.23	48.2	0.59	0.49	-0.20	50.3	0.45	0.46	-0.01	53.7	0.34	0.48	0.00	51.7	0.40
San Juan 010	0.54	-0.20	48.4	0.54	0.46	-0.23	50.0	0.51	0.45	-0.01	53.2	0.39	0.43	0.00	51.1	0.30
San Juan 003	0.56	-0.18	47.3	0.55	0.47	-0.24	50.2	0.45	0.41	-0.01	53.8	0.41	0.49	0.00	52.1	0.35
San Juan 021	0.47	-0.24	48.5	0.42	0.49	-0.23	50.6	0.50	0.50	-0.07	53.9	0.39	0.41	0.03	52.2	0.40
San Juan 005	0.48	-0.21	49.2	0.50	0.49	-0.21	50.9	0.53	0.49	-0.01	53.9	0.32	0.45	0.00	52.5	0.30
San Juan 045	0.52	-0.13	49.1	0.58	0.51	-0.22	50.6	0.48	0.49	-0.01	53.1	0.35	0.48	0.00	52.7	0.35
San Juan 025	0.53	-0.23	48.2	0.53	0.50	-0.23	50.4	0.46	0.47	-0.01	53.8	0.35	0.46	0.00	52.1	0.30
San Juan 062	0.47	-0.21	48.5	0.50	0.47	-0.22	50.0	0.45	0.45	-0.01	53.8	0.40	0.44	0.00	52.1	0.40

Tabela 4.2 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de El Médano obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
El Medano 002	1.05	2.99	0.389	1.078	2.126	0.47	-0.1321	0.01	34.1	0.4	0.605	0.05	30.14	0.5
El Medano 003	1.03	2.953	0.297	1.049	2.07	0.31	-0.105	-0.03	33.72	0.4	0.718	0.076	30.98	0.5
El Medano 004	1.15	2.94	0.30	1.20	2.02	0.42	0.05	0.09	33.5	0.39	0.66	-0.29	30.5	0.48
El Medano 005	1.03	2.93	0.29	1.05	2.07	0.31	-0.22	0.53	34.7	0.40	0.30	0.52	30.7	0.50
El Medano 006	1.16	2.96	0.34	1.14	2.21	0.45	0.18	0.09	33.8	0.44	0.70	-0.29	32.5	0.45
El Medano 007	1.06	3.00	0.40	0.97	2.39	0.50	-0.07	0.04	33.7	0.40	0.59	0.06	33.4	0.50
El Medano 008	1.14	2.96	0.35	1.14	2.06	0.39	0.03	0.09	34.1	0.40	0.79	-0.29	30.7	0.41
El Medano 009	1.04	2.94	0.29	1.06	2.08	0.37	-0.01	0.09	34.4	0.40	0.25	0.17	29.5	0.50
El Medano 011	1.03	2.95	0.29	1.05	2.06	0.37	-0.21	0.10	32.9	0.40	0.49	0.11	30.3	0.45
El Medano 012	1.17	2.94	0.30	1.21	1.98	0.42	0.05	0.09	33.3	0.43	0.66	-0.29	30.5	0.50
El Medano 014	1.03	2.95	0.28	1.06	2.13	0.35	-0.15	-0.07	32.6	0.40	0.60	0.08	30.9	0.50
El Medano 015	1.05	3.00	0.45	1.09	2.12	0.35	-0.18	-0.10	33.1	0.40	0.60	0.08	30.5	0.50
El Medano 016	1.04	2.97	0.38	1.04	2.11	0.45	-0.18	-0.10	33.1	0.40	0.56	0.18	32.2	0.50
El Medano 017	1.16	2.96	0.34	1.14	2.10	0.40	-0.01	0.04	33.4	0.41	0.68	0.04	30.6	0.41
El Medano 018	1.03	2.96	0.35	1.06	2.07	0.37	-0.05	-0.07	33.6	0.40	0.67	0.07	30.2	0.50

Continuação tabela 4.2(a).

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
El Medano 020	1.05	3.00	0.45	1.10	2.10	0.45	-0.12	0.10	32.9	0.60	0.56	0.18	31.2	0.50
El Medano 021	1.04	2.95	0.29	1.04	2.08	0.31	-0.08	-0.01	32.7	0.40	0.67	0.08	30.2	0.50
El Medano 022	1.04	2.95	0.29	1.06	2.07	0.31	-0.11	-0.02	33.8	0.40	0.50	0.17	29.5	0.50
El Medano 023	1.03	2.93	0.30	1.04	2.09	0.30	-0.15	-0.07	33.6	0.40	0.67	0.08	30.9	0.50
El Medano 025	1.05	3.01	0.40	1.05	2.17	0.50	0.04	-0.44	33.9	0.40	0.38	-0.40	33.4	0.50
El Medano 028	1.15	2.95	0.35	1.16	2.11	0.41	0.18	0.09	33.4	0.38	0.78	-0.29	29.7	0.42
El Medano 029	1.15	2.95	0.30	1.11	2.21	0.38	0.02	0.03	33.6	0.41	0.77	-0.14	31.3	0.48
El Medano 030	1.15	3.13	0.60	1.04	2.40	0.40	0.02	-0.20	34.5	0.40	0.45	0.08	31.6	0.50
El Medano 031	1.03	2.95	0.29	1.06	2.06	0.31	-0.05	0.01	34.0	0.40	0.43	0.17	28.4	0.50
El Medano 032	1.03	2.94	0.29	1.04	2.08	0.45	0.24	-0.27	33.9	0.40	0.16	0.72	31.3	0.50
El Medano 033	1.06	2.98	0.40	1.11	2.05	0.50	0.06	-0.20	34.2	0.40	0.70	0.08	31.2	0.50
El Medano 034	1.04	3.01	0.40	1.02	2.22	0.50	0.28	-0.14	34.4	0.40	0.60	-0.07	31.7	0.50
El Medano 036	1.06	3.00	0.40	1.06	2.21	0.50	0.15	-0.20	34.4	0.40	0.69	0.08	32.4	0.50
El Medano 037	1.06	3.00	0.40	1.05	2.22	0.50	-0.17	-0.19	35.0	0.40	0.27	-0.24	35.0	0.50
El Medano 026	1.15	2.96	0.31	1.15	2.15	0.47	0.02	-0.05	33.3	0.45	0.64	0.16	32.4	0.45

Continuação tabela 4.2(a).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO										
	Fe ³⁺			Goethita				Maghemita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
El Medano 002	0.39	0.69	0.472	0.25	-0.14	27.18	0.45	0.12	-0.14	50.1	0.35
El Medano 003	0.36	0.66	0.467	0.243	-0.21	21.45	0.45	0.17	0.01	45.0	0.35
El Medano 004	0.47	0.68	0.30	0.24	-0.19	31.0	0.30	0.31	-0.02	49.3	0.38
El Medano 005	0.37	0.66	0.47	0.00	-0.64	25.9	0.45	0.30	-0.01	50.1	0.35
El Medano 006	0.50	0.69	0.50	0.31	-0.19	32.0	0.30	--	--	--	--
El Medano 007	0.43	0.67	0.50	0.46	0.37	29.4	0.45	-	-	-	-
El Medano 008	0.47	0.62	0.50	0.39	-0.10	32.9	0.30	0.35	-0.01	49.5	0.31
El Medano 009	0.37	0.73	0.36	0.18	-0.32	20.6	0.45	-	-	-	-
El Medano 011	0.36	0.65	0.55	0.17	-0.10	25.0	0.45	0.17	-0.10	49.5	0.35
El Medano 012	0.47	0.70	0.35	0.21	-0.19	31.7	0.30	0.25	-0.02	49.8	0.35
El Medano 014	0.36	0.65	0.38	0.15	-0.33	22.2	0.45	0.20	0.01	49.3	0.35
El Medano 015	0.38	0.69	0.52	0.24	-0.21	25.7	0.45	0.12	0.01	50.1	0.35
El Medano 016	0.41	0.67	0.38	0.21	-0.21	20.0	0.45	-	-	-	-
El Medano 017	0.50	0.63	0.50	0.35	-0.10	32.7	0.30	0.22	0.00	49.7	0.34
El Medano 018	0.36	0.66	0.33	0.18	-0.32	21.4	0.45	0.15	0.01	49.4	0.35

Continuação tabela 4.2(a).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO										
	Fe3+			Goethita				Maghemita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
El Medano 020	0.39	0.74	0.38	0.26	-0.13	19.5	0.45	-	-	-	-
El Medano 021	0.37	0.65	0.47	0.13	-0.31	23.7	0.45	0.20	0.01	49.5	0.35
El Medano 022	0.36	0.66	0.47	0.21	-0.13	26.0	0.45	0.21	0.01	49.4	0.35
El Medano 023	0.39	0.68	0.51	0.23	0.00	26.2	0.45	-	-	-	-
El Medano 025	0.40	0.63	0.50	0.21	-0.16	26.2	0.45	0.20	0.01	50.2	0.35
El Medano 028	0.50	0.72	0.49	0.33	-0.19	32.9	0.30	0.34	-0.02	49.6	0.35
El Medano 029	0.56	0.65	0.48	--	--	--	--	--	--	--	--
El Medano 030	0.49	0.35	0.50	0.36	0.19	19.0	0.45	0.52	0.01	50.2	0.35
El Medano 031	0.36	0.67	0.47	0.14	-0.32	22.7	0.45	0.17	0.01	49.5	0.35
El Medano 032	0.36	0.68	0.47	0.37	-0.20	23.5	0.45	0.11	0.01	49.8	0.35
El Medano 033	0.38	0.66	0.50	0.15	-0.28	24.2	0.45	0.21	0.01	50.5	0.35
El Medano 034	0.42	0.62	0.50	0.29	-0.14	24.1	0.45	0.32	0.01	50.0	0.35
El Medano 036	0.40	0.65	0.50	0.25	-0.09	23.7	0.45	0.27	0.01	49.9	0.35
El Medano 037	0.43	0.60	0.50	0.35	0.19	27.7	0.45	-	-	-	-
El Medano 026	0.51	0.72	0.47	0.32	-0.19	32.9	0.30	--	--	--	--

Continuação tabela 4.2(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
El Medano 002	0.67	3.27	4.6	3.0	0.30	1.27	3.08	10.3	1.9	0.30	1.36	2.15	1.5	1.2	0.50	1.24	-0.89	25.1	1.4	0.35	0.28	-0.19	26.3	0.60	0.70	-0.22	30.8	0.60
El Medano 003	0.83	3.07	3.7	3.0	0.30	1.30	3.06	10.1	1.9	0.30	1.30	2.43	0.9	1.2	0.50	1.12	-1.01	25.5	1.4	0.35	-0.02	-0.19	34.7	0.60	0.87	-0.22	32.1	0.60
El Medano 004	0.50	3.42	4.5	2.5	0.32	1.20	2.67	9.6	1.5	0.30	1.37	2.26	1.4	0.2	0.38	1.50	-1.12	25.4	0.4	0.35	0.32	-0.08	34.3	0.48	0.80	-0.18	32.4	0.30
El Medano 005	0.53	3.36	5.0	3.0	0.30	1.33	3.09	10.6	1.9	0.30	1.30	2.22	1.3	1.2	0.50	1.23	-0.62	24.7	1.4	0.35	-0.69	-0.19	32.0	0.60	0.78	-0.22	32.8	0.60
El Medano 006	0.49	3.55	3.8	2.5	0.31	1.36	2.99	10.0	1.5	0.30	1.54	1.78	1.0	0.2	0.32	1.68	-1.05	25.4	0.4	0.34	0.06	-0.29	34.3	0.50	0.94	0.04	33.1	0.51
El Medano 007	0.30	3.58	5.2	3.0	0.30	1.30	3.15	10.2	1.9	0.30	1.37	1.63	1.1	1.2	0.50	1.37	-1.19	24.9	1.4	0.35	-0.99	-0.19	32.3	0.60	0.81	-0.22	33.0	0.60
El Medano 008	0.51	3.59	5.7	0.8	0.33	1.23	2.66	9.8	0.8	0.39	1.48	2.04	1.1	0.2	0.34	1.55	-1.06	25.4	0.4	0.35	0.10	-0.29	34.6	0.45	0.83	-0.08	33.0	0.35
El Medano 009	0.37	3.44	4.7	3.0	0.30	1.29	3.08	10.6	1.9	0.30	1.16	2.04	1.3	1.2	0.50	1.09	-1.16	25.4	1.4	0.35	-0.14	-0.19	33.8	0.60	0.68	-0.22	32.4	0.60
El Medano 010	0.64	3.15	4.7	3.0	0.30	1.26	3.03	10.3	1.9	0.30	1.24	2.48	1.6	1.2	0.50	1.32	-0.49	23.5	1.4	0.35	-0.16	-0.19	35.3	0.60	0.97	-0.22	31.0	0.60
El Medano 012	0.48	3.74	5.3	0.8	0.34	1.22	2.98	10.2	0.8	0.37	1.42	2.20	1.4	0.2	0.34	1.64	-1.04	25.5	0.4	0.33	0.01	-0.31	34.9	0.42	0.93	-0.11	31.7	0.34
El Medano 014	0.84	3.16	3.3	3.0	0.30	1.29	3.04	9.9	1.9	0.30	1.32	2.50	0.7	1.2	0.50	1.24	-0.90	25.1	1.4	0.35	0.05	-0.19	34.5	0.60	0.84	-0.22	32.7	0.60
El Medano 015	0.97	3.13	2.9	3.0	0.30	1.31	3.02	9.8	1.9	0.30	1.36	2.44	-0.2	1.2	0.50	0.72	0.30	25.6	1.4	0.35	-0.43	-0.19	32.9	0.60	0.74	-0.22	31.8	0.60
El Medano 016	0.32	3.82	4.7	3.0	0.30	1.27	3.05	10.0	1.9	0.30	1.32	2.01	1.5	1.2	0.50	1.11	-0.96	25.2	1.4	0.35	0.90	-0.19	32.7	0.60	0.90	-0.22	32.7	0.60
El Medano 017	0.41	3.49	5.3	2.5	0.32	1.14	2.45	10.6	1.5	0.39	1.19	2.00	1.3	0.2	0.37	1.44	-1.05	26.0	0.4	0.31	0.12	-0.08	34.1	0.50	0.92	-0.18	32.7	0.41
El Medano 018	0.87	3.07	2.7	3.0	0.30	1.32	3.14	10.2	1.9	0.30	1.35	2.50	1.2	1.2	0.50	0.70	0.38	29.5	1.4	0.35	-0.04	-0.19	35.3	0.60	0.89	-0.22	33.2	0.60

Continuação tabela 4.2(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
El Medano 020	-0.11	4.39	2.1	3.0	0.30	1.34	2.97	10.0	1.9	0.30	1.43	2.15	2.0	1.2	0.50	0.88	-0.56	28.9	1.4	0.35	0.11	0.19	34.5	0.60	0.77	-0.22	33.2	0.60
El Medano 021	0.66	3.48	4.6	3.0	0.30	1.28	3.02	9.9	1.9	0.30	1.28	2.44	1.3	1.2	0.50	1.14	-0.81	25.9	1.4	0.35	-0.15	-0.19	33.3	0.60	0.90	-0.22	32.9	0.60
El Medano 022	0.73	3.13	4.3	3.0	0.30	1.19	3.01	10.0	1.9	0.30	1.28	2.36	1.7	1.2	0.50	1.29	-0.78	24.9	1.4	0.35	-0.54	-0.19	33.8	0.60	0.58	-0.22	32.1	0.60
El Medano 023	0.45	3.65	4.8	3.0	0.30	1.27	3.08	10.2	1.9	0.30	1.34	2.02	1.3	1.2	0.50	1.43	-1.32	24.6	1.4	0.35	-0.65	-0.19	32.1	0.60	0.74	-0.22	31.8	0.60
El Medano 025	0.81	3.12	2.8	3.0	0.30	1.34	3.08	10.1	1.9	0.30	1.34	2.48	1.2	1.2	0.50	1.21	-1.10	25.0	1.4	0.35	-0.08	-0.19	34.2	0.60	0.85	-0.22	32.0	0.60
El Medano 028	0.46	3.59	5.0	2.5	0.30	1.27	2.74	10.9	1.5	0.35	1.38	2.10	1.2	0.2	0.35	1.61	-1.04	25.4	0.4	0.36	0.10	-0.29	34.7	0.38	0.85	-0.08	33.0	0.38
El Medano 029	0.37	3.86	4.4	4.0	0.35	1.35	3.12	10.2	3.5	0.33	1.41	2.27	1.0	0.9	0.45	1.13	-0.86	24.3	0.4	0.35	0.10	-0.36	33.7	0.55	0.92	-0.20	32.8	0.42
El Medano 030	0.23	4.37	4.8	3.0	0.30	1.25	3.26	10.2	1.9	0.30	1.34	2.29	1.4	1.2	0.50	1.30	-0.51	23.8	1.4	0.35	-0.23	-0.19	32.0	0.60	0.90	-0.22	31.3	0.60
El Medano 031	0.77	3.11	4.6	3.0	0.30	1.28	3.15	10.2	1.9	0.30	1.32	2.40	1.4	1.2	0.50	1.15	-0.89	25.9	1.4	0.35	0.05	-0.19	34.8	0.60	0.86	-0.22	32.4	0.60
El Medano 032	0.33	4.10	4.5	3.0	0.30	1.27	3.13	10.1	1.9	0.30	1.25	2.48	1.4	1.2	0.50	1.06	-0.62	26.0	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.60	0.85	-0.22	33.1	0.30
El Medano 033	0.54	3.50	4.9	3.0	0.30	1.30	3.22	10.2	1.9	0.30	1.35	2.38	1.0	1.2	0.50	1.17	-0.88	25.3	1.4	0.35	-1.43	-0.19	34.2	0.60	0.88	-0.22	32.9	0.60
El Medano 034	0.71	4.09	6.5	3.0	0.30	1.26	3.22	10.5	1.9	0.30	1.31	2.52	1.6	1.2	0.50	0.76	-0.44	29.0	1.4	0.35	-0.03	-0.19	35.1	0.60	0.86	-0.22	33.8	0.30
El Medano 036	0.70	3.62	5.6	3.0	0.30	1.37	3.18	9.7	1.9	0.30	1.33	2.35	1.3	1.2	0.50	1.24	-0.68	24.9	1.4	0.35	-0.28	-0.19	32.6	0.60	0.90	-0.22	32.8	0.30
El Medano 037	0.44	3.50	5.1	3.0	0.30	1.27	3.01	10.3	1.9	0.30	1.32	2.02	1.3	1.2	0.50	1.62	-1.32	24.2	1.4	0.35	-0.67	-0.19	31.6	0.60	0.76	-0.22	32.8	0.30
El Medano 026	0.31	4.15	4.7	4.0	0.31	1.45	3.19	10.3	3.5	0.38	1.40	2.35	1.1	0.9	0.38	1.09	-1.03	25.5	0.4	0.38	0.08	-0.36	33.7	0.54	0.92	-0.20	32.8	0.41

Continuação tabela 4.2(b).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W
El Medano 002	0.51	-0.24	49.7	0.50	0.40	-0.23	51.4	0.45	0.35	-0.01	54.1	0.40	0.34	0.00	53.1	0.40
El Medano 003	0.47	-0.24	49.2	0.50	0.45	-0.22	50.7	0.45	0.35	-0.01	54.1	0.40	0.34	0.00	53.1	0.40
El Medano 004	0.53	-0.13	47.6	0.50	0.49	-0.22	49.1	0.41	0.49	-0.01	53.4	0.35	0.48	0.00	52.6	0.35
El Medano 005	0.50	-0.24	49.2	0.50	0.39	-0.23	51.0	0.45	0.35	-0.01	54.1	0.40	0.34	0.00	53.1	0.40
El Medano 006	0.47	-0.18	48.5	0.64	0.49	-0.22	50.2	0.38	--	--	--	--	--	--	--	--
El Medano 007	0.48	-0.18	49.1	0.55	0.47	-0.18	51.2	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
El Medano 008	0.50	-0.22	47.3	0.59	0.51	-0.21	50.2	0.49	0.49	-0.01	53.8	0.30	0.48	0.00	52.3	0.30
El Medano 009	0.46	-0.16	49.5	0.55	0.43	-0.21	51.5	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
El Medano 010	0.49	-0.24	49.5	0.45	0.47	-0.19	51.2	0.40	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 012	0.48	-0.22	48.4	0.62	0.49	-0.22	50.1	0.49	0.49	-0.01	53.9	0.40	0.48	0.00	52.3	0.40
El Medano 014	0.48	-0.21	49.1	0.50	0.41	-0.22	51.0	0.45	0.40	-0.01	54.1	0.40	0.34	0.00	53.1	0.40
El Medano 015	0.48	-0.21	49.6	0.50	0.43	-0.23	51.3	0.45	0.35	-0.01	54.1	0.40	0.34	0.00	53.1	0.40
El Medano 016	0.48	-0.21	49.1	0.50	0.45	-0.15	50.7	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-
El Medano 017	0.47	-0.13	47.1	0.49	0.48	-0.19	49.0	0.43	0.49	-0.01	53.2	0.35	0.48	0.00	52.8	0.35
El Medano 018	0.45	-0.17	49.4	0.50	0.48	-0.21	51.3	0.45	0.35	0.01	54.1	0.40	0.34	0.00	53.1	0.40

Continuação tabela 4.2(b).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W
El Medano 020	0.46	-0.22	50.2	0.50	0.46	-0.15	51.3	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-
El Medano 021	0.47	-0.21	49.1	0.50	0.42	-0.22	50.5	0.40	0.35	-0.01	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 022	0.48	-0.22	49.6	0.50	0.41	-0.26	52.4	0.55	0.35	-0.01	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 023	0.39	-0.23	49.8	0.50	0.48	-0.22	51.2	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-
El Medano 025	0.39	-0.20	49.3	0.50	0.43	-0.22	51.1	0.45	0.35	-0.01	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 028	0.49	-0.22	47.8	0.55	0.49	-0.21	50.0	0.39	0.49	-0.01	53.7	0.30	0.48	0.00	52.4	0.30
El Medano 029	0.48	-0.25	47.4	0.61	0.50	-0.27	50.4	0.41	--	--	--	--	--	--	--	--
El Medano 030	0.43	-0.29	48.7	0.40	0.48	-0.19	50.8	0.55	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 031	0.39	-0.22	49.0	0.45	0.49	-0.21	50.9	0.50	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 032	0.45	-0.20	49.1	0.50	0.45	-0.22	50.6	0.45	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 033	0.38	-0.25	49.2	0.50	0.48	-0.22	50.9	0.45	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 034	0.41	-0.16	49.2	0.50	0.46	-0.23	51.4	0.45	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 036	0.44	-0.19	48.8	0.50	0.49	-0.22	50.7	0.45	0.35	0.00	54.10	0.40	0.34	0.00	53.11	0.40
El Medano 037	0.39	-0.22	49.8	0.45	0.43	-0.24	51.1	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
El Medano 026	0.43	-0.19	49.3	0.55	0.43	-0.24	51.1	0.55	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabela 4.3 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de Caleta el Cobre obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
Caleta el Cobre 002	1.10	3.123	0.48	1.15	2.21	0.53	0.06	-0.2	34.3	0.4	0.702	0.076	32.61	0.5
Caleta el Cobre 003	1.16	2.96	0.35	1.14	2.10	0.40	-0.01	-0.04	33.4	0.42	0.68	0.04	30.6	0.40
Caleta el Cobre 004	1.07	3.03	0.30	1.08	2.16	0.40	-0.13	-0.01	33.6	0.40	0.50	0.08	31.3	0.50
Caleta el Cobre 005	1.15	2.96	0.33	1.16	2.08	0.39	0.08	0.09	33.4	0.39	0.57	-0.33	30.1	0.50
Caleta el Cobre 006	1.06	2.99	0.32	1.06	2.99	0.32	0.01	-0.10	34.0	0.60	0.60	0.11	32.1	0.60
Caleta el Cobre 007	1.07	3.02	0.41	1.10	2.12	0.40	0.01	-0.10	33.5	0.40	0.60	0.11	32.2	0.50
Caleta el Cobre 009	1.05	2.96	0.37	1.06	2.13	0.40	-0.15	-0.10	34.2	0.40	0.53	0.11	32.2	0.60
Caleta el Cobre 010	1.05	2.98	0.36	1.06	2.13	0.38	-0.21	-0.04	33.5	0.40	0.68	-0.13	31.8	0.70
Caleta el Cobre 011	1.05	2.97	0.36	1.05	2.10	0.32	-0.21	-0.10	33.5	0.40	0.68	-0.13	31.8	0.50
Caleta el Cobre 012	1.04	2.97	0.41	1.05	2.10	0.40	-0.21	0.06	33.3	0.40	0.70	-0.20	31.1	0.50
Caleta el Cobre 013	1.16	2.92	0.40	1.18	2.01	0.42	0.05	0.09	33.8	0.40	0.66	-0.29	30.5	0.50
Caleta el Cobre 015	1.05	2.98	0.35	1.02	2.32	0.52	-0.21	0.06	33.7	0.40	0.70	-0.20	32.4	0.50
Caleta el Cobre 016	1.03	2.94	0.36	1.00	2.22	0.46	-0.25	0.06	33.7	0.40	0.60	-0.01	32.1	0.50
Caleta el Cobre 017	1.04	2.96	0.43	1.01	2.23	0.50	-0.30	-0.15	33.0	0.40	0.68	-0.10	30.5	0.50

Continuação tabela 4.3(a).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO											
	Fe3+			Goethita				Maghemita				
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	
Caleta el Cobre 002	0.33	0.687	0.5	0.302	-0.158	24.8	0.45	0.25	0.01	49.9	0.35	
Caleta el Cobre 003	0.50	0.63	0.50	0.36	-0.10	33.9	0.30	0.28	-0.01	49.0	0.38	
Caleta el Cobre 004	0.38	0.67	0.47	0.19	-0.17	23.8	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 005	0.47	0.68	0.35	0.27	-0.19	29.5	0.30	0.31	-0.03	49.7	0.33	
Caleta el Cobre 006	0.38	0.71	0.55	0.24	-0.14	26.2	0.45	0.20	0.01	50.8	0.35	
Caleta el Cobre 007	0.37	0.71	0.55	0.26	-0.10	24.6	0.45	0.19	0.01	50.0	0.35	
Caleta el Cobre 009	0.40	0.74	0.51	0.25	-0.09	26.9	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 010	0.40	0.74	0.40	0.28	-0.10	21.9	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 011	0.39	0.79	0.61	0.23	-0.18	24.9	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 012	0.39	0.78	0.56	0.27	-0.16	29.0	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 013	0.48	0.69	0.30	0.27	-0.19	31.7	0.30	0.25	-0.02	49.6	0.35	
Caleta el Cobre 015	0.43	0.64	0.59	0.12	0.16	25.7	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 016	0.42	0.62	0.40	0.36	-0.01	23.4	0.45	-	-	-	-	
Caleta el Cobre 017	0.41	0.63	0.50	0.36	0.04	24.3	0.45	-	-	-	-	

Continuação tabela 4.3(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
Caleta el Cobre 002	0.63	3.44	5.5	3.0	0.30	1.29	3.11	10.0	1.9	0.30	1.27	2.41	1.5	1.2	0.50	1.21	-0.75	24.1	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.60	0.87	-0.22	32.9	0.60
Caleta el Cobre 003	0.49	3.80	5.2	0.8	0.33	1.22	2.91	10.2	0.8	0.31	1.44	2.17	1.3	0.2	0.30	1.58	-1.02	25.4	0.4	0.30	0.02	-0.31	34.4	0.45	0.88	-0.11	32.4	0.36
Caleta el Cobre 004	0.55	3.88	5.0	3.0	0.30	1.28	3.12	10.0	1.9	0.40	1.31	2.48	1.3	1.2	0.50	1.11	-1.32	27.3	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.60	0.84	-0.14	33.4	0.60
Caleta el Cobre 005	0.48	3.69	5.1	3.0	0.32	1.16	2.59	9.9	2.0	0.34	1.36	2.32	1.3	0.2	0.48	1.49	-1.03	25.5	0.4	0.32	0.02	-0.09	34.2	0.42	0.91	-0.17	32.7	0.31
Caleta el Cobre 006	0.43	3.85	4.9	3.0	0.30	1.29	3.05	10.5	1.9	0.30	1.30	2.18	1.4	1.2	0.50	1.12	-1.04	26.9	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.60	0.97	-0.22	32.9	0.60
Caleta el Cobre 007	0.63	3.44	5.5	3.0	0.30	1.29	3.11	10.0	1.9	0.30	1.27	2.41	1.5	1.2	0.50	1.21	-0.75	24.1	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.60	0.87	-0.22	32.9	0.60
Caleta el Cobre 009	0.24	3.67	3.6	3.0	0.30	1.30	3.06	10.1	1.9	0.40	1.38	2.36	2.1	1.2	0.50	1.14	-0.88	25.0	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.60	0.80	-0.19	33.4	0.45
Caleta el Cobre 010	0.36	4.07	4.5	2.5	0.30	1.28	3.08	10.3	1.0	0.40	1.34	1.18	1.2	0.5	0.40	1.16	-0.97	26.7	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.50	0.97	-0.03	33.6	0.40
Caleta el Cobre 011	0.58	3.72	4.6	2.5	0.30	1.27	3.14	10.3	1.0	0.40	1.30	2.20	1.4	0.5	0.40	-0.36	2.43	26.7	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.50	0.82	-0.27	32.7	0.40
Caleta el Cobre 012	0.38	3.77	4.5	2.5	0.30	1.29	3.03	10.3	1.0	0.40	1.29	2.25	1.3	0.5	0.40	1.10	-0.90	25.7	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.5	0.50	0.87	-0.12	33.7	0.40
Caleta el Cobre 013	0.56	3.23	4.4	2.5	0.31	1.25	2.66	10.9	1.5	0.38	1.30	2.08	1.0	0.2	0.40	1.58	-1.05	25.8	0.4	0.35	0.08	-0.08	33.9	0.51	0.93	-0.18	32.3	0.30
Caleta el Cobre 015	0.12	4.51	5.2	3.0	0.30	1.28	3.13	10.5	1.9	0.40	1.35	2.24	1.5	1.2	0.50	1.10	-1.12	27.6	1.4	0.35	0.11	-0.19	34.0	0.60	0.72	-0.56	31.9	0.45
Caleta el Cobre 016	0.02	4.77	5.1	2.5	0.30	1.17	3.25	9.8	1.0	0.40	1.31	2.33	1.4	0.5	0.40	0.79	-0.32	29.5	1.4	0.35	0.14	-0.19	34.5	0.50	0.81	-0.21	32.7	0.30
Caleta el Cobre 017	0.71	3.69	4.6	2.5	0.30	1.34	3.06	9.7	1.0	0.40	1.33	2.40	1.3	0.5	0.40	0.43	0.53	28.2	1.4	0.35	0.09	-0.19	34.8	0.50	0.86	-0.28	33.5	0.30

Continuação tabela 4.3(b).

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W	IS	2 ϵ	B _{hf}	W
Caleta el Cobre 002	0.48	-0.19	49.2	0.50	0.38	-0.23	50.9	0.45	0.35	-0.01	53.8	0.40	0.34	0.00	52.1	0.40
Caleta el Cobre 003	0.49	-0.22	48.2	0.65	0.50	-0.23	49.5	0.42	0.49	-0.01	53.3	0.40	0.48	0.00	52.3	0.40
Caleta el Cobre 004	0.49	-0.20	49.9	0.60	0.38	-0.21	51.4	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 005	0.48	-0.08	48.9	0.70	0.49	-0.18	49.5	0.44	0.49	-0.01	54.9	0.33	0.48	0.00	52.0	0.35
Caleta el Cobre 006	0.42	-0.03	48.5	0.60	0.38	-0.24	50.9	0.45	0.35	-0.01	52.8	0.40	0.34	0.00	51.9	0.40
Caleta el Cobre 007	0.48	-0.21	47.6	0.60	0.37	-0.21	49.5	0.45	0.35	-0.01	52.8	0.40	0.34	0.00	51.9	0.40
Caleta el Cobre 009	0.47	-0.13	48.5	0.50	0.37	-0.18	50.5	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 010	0.40	-0.01	47.9	0.65	0.38	-0.20	50.3	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 011	0.38	-0.09	48.8	0.50	0.37	-0.21	50.0	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 012	0.48	-0.14	48.7	0.50	0.38	-0.20	50.4	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 013	0.47	-0.13	48.6	0.50	0.50	-0.24	50.4	0.48	0.49	-0.01	52.9	0.35	0.48	0.00	52.1	0.35
Caleta el Cobre 015	0.32	0.16	48.1	0.65	0.48	-0.20	50.6	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 016	0.49	-0.39	47.3	0.65	0.45	-0.16	50.5	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-
Caleta el Cobre 017	0.42	-0.07	49.5	0.65	0.39	-0.22	50.9	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4.4 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados na área de Pampa de Mejillones obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
PdM 014	1.16	2.98	0.40	1.17	2.12	0.48	0.02	-0.06	33.6	0.48	0.76	-0.11	31.6	0.40
La Yesera 002	1.17	2.99	0.34	1.15	2.43	0.47	0.31	-0.06	33.0	0.42	0.74	-0.12	31.6	0.58
La Yesera 004	1.21	3.13	0.35	1.22	2.22	0.41	-0.07	0.02	33.0	0.42	0.69	-0.17	33.0	0.52
Pampa B	1.10	2.81	0.35	1.08	2.17	0.40	-0.07	0.02	33.0	0.45	0.74	-0.06	29.9	0.58
PdM 002	1.18	3.04	0.39	1.18	2.18	0.42	-0.06	0.06	33.5	0.48	0.75	-0.13	32.2	0.51
Pampa D	1.04	2.74	0.33	1.08	1.99	0.54	0.07	-0.06	33.1	0.43	0.66	-0.17	32.9	0.48
PdM 004	1.17	3.01	0.35	1.18	2.12	0.42	-0.06	0.06	33.5	0.51	0.75	-0.13	32.2	0.50
La Yesera 003	1.14	2.93	0.38	1.17	2.06	0.40	-0.06	0.06	33.5	0.50	0.75	-0.13	32.2	0.46
Pampa G	1.17	3.01	0.36	1.18	2.12	0.35	-0.20	0.06	33.0	0.48	0.76	0.09	31.9	0.48
PdM 007	1.16	2.93	0.32	1.16	2.08	0.36	-0.02	0.06	33.3	0.51	0.71	0.09	31.9	0.45
PdM 012	1.16	2.98	0.35	1.17	2.08	0.41	-0.05	0.06	33.3	0.52	0.72	0.09	31.9	0.52

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO										
	Fe3+			Goethita				Maghemita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
PdM 014	0.40	0.71	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
La Yesera 02	0.49	0.61	0.55	--	--	--	--	--	--	--	--
La Yesera 004	0.38	0.69	0.50	0.38	-0.26	30.7	0.30	0.38	0.01	50.7	0.33
Pampa B	0.41	0.48	0.45	0.33	-0.26	27.6	0.30	0.37	0.01	49.2	0.35
PdM 002	0.38	0.68	0.52	0.38	-0.26	28.7	0.30	0.35	0.01	49.8	0.33
Pampa D	0.25	0.73	0.52	0.38	-0.26	32.6	0.30	0.32	0.01	49.2	0.39
PdM 004	0.38	0.72	0.48	0.29	-0.26	29.5	0.30	0.30	0.01	50.1	0.35
La Yesera 003	0.33	0.73	0.52	0.35	-0.26	29.7	0.30	0.32	0.01	48.7	0.36
Pampa G	0.37	0.72	0.51	0.37	-0.15	33.3	0.30	0.31	0.01	49.9	0.35
PdM 007	0.39	0.77	0.51	0.37	-0.15	31.2	0.30	0.32	0.01	49.0	0.31
PdM 012	0.36	0.67	0.52	0.37	-0.15	32.3	0.30	0.32	0.01	49.1	0.37

Continuação tabela 4.4(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
PdM 014	0.49	3.73	4.5	3.5	0.35	1.23	3.12	10.1	2.5	0.31	1.21	2.31	0.9	0.9	0.58	1.01	-0.69	25.6	0.4	0.40	-0.09	-0.13	34.0	0.58	0.78	-0.14	32.9	0.42
La Yesera 002	0.22	3.94	4.5	3.0	0.30	1.22	3.12	10.4	1.5	0.36	1.27	2.13	0.9	0.9	0.59	1.10	-1.01	26.1	2.1	0.35	0.17	-0.27	34.9	0.55	0.77	-0.13	33.0	0.51
La Yesera 004	0.22	4.19	4.8	3.0	0.35	1.26	3.08	10.0	1.9	0.35	1.29	2.28	1.2	0.2	0.61	1.15	-0.83	25.5	1.0	0.37	-0.16	-0.09	33.7	0.56	0.85	-0.10	32.6	0.42
Pampa B	0.30	3.87	4.5	3.0	0.37	1.23	3.12	10.3	1.9	0.33	1.25	2.28	1.3	0.2	0.49	1.15	-0.83	25.4	1.0	0.33	-0.16	-0.09	34.3	0.60	0.78	-0.10	33.0	0.52
PdM 002	0.24	3.06	4.0	3.0	0.31	1.26	3.10	9.8	1.9	0.32	1.25	2.55	1.2	0.2	0.55	1.09	-0.73	25.1	1.0	0.32	-0.06	-0.09	34.3	0.58	0.80	-0.14	32.8	0.49
Pampa D	0.32	4.15	4.8	3.0	0.34	1.26	3.17	10.0	1.9	0.36	1.26	2.37	1.1	0.2	0.51	1.14	-0.80	24.4	1.0	0.33	-0.16	-0.09	34.0	0.53	0.85	-0.10	32.6	0.49
PdM 004	0.43	3.79	4.2	3.0	0.35	1.25	3.06	9.9	1.9	0.34	1.27	2.28	1.1	0.2	0.53	1.12	-0.86	24.9	1.0	0.35	0.01	-0.09	34.6	0.48	0.82	-0.03	32.8	0.52
La Yesera 003	0.46	3.62	4.1	3.0	0.37	1.28	2.99	9.9	1.9	0.32	1.23	2.33	1.2	0.2	0.54	1.09	-0.81	24.6	1.0	0.39	0.01	-0.09	34.9	0.45	0.82	-0.03	32.8	0.50
Pampa G	0.55	3.76	4.7	3.0	0.38	1.28	3.08	9.9	1.9	0.31	1.28	2.34	1.3	0.2	0.48	1.19	-0.80	25.3	1.0	0.35	0.01	-0.07	34.7	0.51	0.82	-0.12	32.6	0.51
PdM 007	0.61	3.57	4.0	3.0	0.37	1.26	3.04	10.1	1.9	0.37	1.27	2.32	1.4	0.2	0.51	1.23	-0.72	24.8	1.0	0.33	0.01	-0.07	34.2	0.49	0.82	-0.12	32.6	0.54
PdM 012	0.83	3.15	3.4	3.0	0.31	1.25	3.12	10.1	1.9	0.35	1.26	2.46	1.3	0.2	0.50	1.27	-0.80	24.7	1.0	0.40	0.01	-0.07	34.8	0.43	0.92	-0.12	33.2	0.48

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
PdM 014	0.39	-0.26	49.2	0.41	0.34	-0.15	50.5	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--
La Yesera 002	0.34	-0.14	49.5	0.52	0.36	-0.16	50.0	0.43	0.33	-0.01	53.6	0.35	0.32	0.00	52.9	0.40
La Yesera 004	0.33	-0.12	48.6	0.62	0.37	-0.24	50.2	0.43	0.36	-0.01	53.5	0.42	0.31	0.00	52.6	0.33
Pampa B	0.36	-0.10	48.6	0.61	0.39	-0.28	50.1	0.48	0.31	-0.01	53.5	0.36	0.29	0.00	52.7	0.34
PdM 002	0.39	-0.19	48.9	0.59	0.39	-0.26	50.0	0.41	0.32	-0.01	53.6	0.38	0.28	0.00	52.4	0.38
Pampa D	0.41	-0.21	48.6	0.62	0.37	-0.29	50.3	0.46	0.37	-0.01	54.1	0.41	0.33	0.00	52.6	0.31
PdM 004	0.39	-0.11	48.4	0.58	0.37	-0.24	50.0	0.45	0.32	-0.01	53.5	0.35	0.32	0.00	52.4	0.33
La Yesera 003	0.39	-0.22	48.6	0.55	0.37	-0.24	50.1	0.43	0.30	-0.01	53.3	0.38	0.30	0.00	52.5	0.34
Pampa G	0.35	-0.12	48.8	0.62	0.37	-0.24	50.3	0.42	0.32	-0.01	53.4	0.31	0.33	0.00	52.0	0.35
PdM 007	0.41	-0.12	48.1	0.65	0.36	-0.21	50.3	0.48	0.33	-0.01	53.6	0.36	0.32	0.00	52.0	0.31
PdM 012	0.36	-0.12	48.3	0.63	0.36	-0.20	50.3	0.45	0.34	-0.01	53.6	0.42	0.30	0.00	52.1	0.41

Tabela 4.5 – Parâmetros hiperfinos para meteoritos coletados em Outras Localidades obtidos dos ajustes dos espectros Mössbauer medidos: a) 300 K e b) 4,2 K.

METEORITO	FASES PRIMARIAS													
	Olivina			Piroxênio			Fe-Ni				Troilita			
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)
Lutschaunig's stone	1.22	2.89	0.31	1.03	2.46	0.39	-0.10	0.02	33.9	0.42	0.72	-0.21	31.4	0.48
Estación Imilac	1.16	2.99	0.35	1.13	2.27	0.40	0.00	0.01	33.8	0.51	0.77	-0.18	31.8	0.52
Rencoret	1.15	2.95	0.41	1.14	2.10	0.35	-0.08	0.06	33.7	0.48	0.77	-0.13	31.5	0.50

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO											
	Fe3+			Goethita				Maghemita				
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	<B _{hf} >(mm/s)	W (mm/s)	IS (mm/s)	2ε (mm/s)	B _{hf} (mm/s)	W (mm/s)	
Lutschaunig's stone	0.60	0.64	0.42	--	--	--	--	--	--	--	--	
Estación Imilac	0.46	0.54	0.45	0.38	-0.26	29.0	0.30	0.37	0.01	48.8	0.35	
Rencoret	0.38	0.68	0.52	0.31	-0.26	31.5	0.30	0.31	0.01	49.0	0.34	

Continuação tabela 4.5(b).

METEORITO	FASES PRIMARIAS																											
	Olivina 1					Olivina 2					Piroxênio 1					Piroxênio 2					Fe-Ni				Troilita			
	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	QS	B _{hf}	OME	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
Lutschaunig's stone	0.33	3.79	4.7	3.0	0.36	1.23	3.02	10.4	3.0	0.35	1.20	2.39	1.1	0.9	0.50	1.05	-0.69	25.1	0.4	0.34	0.06	-0.12	34.3	0.44	0.78	-0.16	33.0	0.42
Estación Imilac	0.48	3.43	4.6	3.0	0.35	1.22	2.83	10.9	1.5	0.34	1.21	2.61	1.3	0.9	0.48	1.07	-0.69	25.2	0.4	0.33	0.05	-0.17	34.1	0.45	0.78	-0.15	33.0	0.40
Rencoret	0.77	3.63	4.2	3.0	0.32	1.26	3.10	10.0	1.9	0.31	1.27	2.47	1.3	0.2	0.51	1.13	-0.67	25.2	1.0	0.35	0.01	-0.07	34.0	0.40	0.79	-0.13	32.7	0.50

METEORITO	PRODUTOS DO INTEMPERISMO															
	Akaganeita				Goethita				Maghemita 1				Maghemita 2			
	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W	IS	2ε	B _{hf}	W
Lutschaunig's stone	0.38	-0.23	48.5	0.55	0.36	-0.19	50.9	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--
Estación Imilac	0.47	-0.22	48.0	0.51	0.38	-0.27	50.5	0.39	--	--	--	--	--	--	--	--
Rencoret	0.41	-0.19	47.8	0.61	0.38	-0.23	50.2	0.42	0.32	-0.01	53.3	0.40	0.29	0.00	51.7	0.35

Tabela 4.6 – Áreas relativas das fases primárias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de San Juan obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
San Juan 031	L	43.2	18.7	8.1	20.3	0	0.0	0.0	9.8	9.8
San Juan 052	L	43.4	20.7	5.8	17.3	0	0.0	0.0	12.9	12.9
San Juan 059	L	49.5	18.6	5.8	13.0	0	0.0	0.0	13.0	13.0
San Juan 013	L	42.0	18.5	12.5	12.9	0	0.0	0.0	14.1	14.1
San Juan 019	L	43.2	20.6	3.5	14.3	0	0.0	0.0	18.4	18.4
San Juan 004	L	40.4	27.5	4.2	13.4	0	0.0	0.0	14.6	14.6
San Juan 034	L	45.7	19.3	5.5	14.8	0	0.0	0.0	14.7	14.7
San Juan 056	L	45.3	20.9	3.4	14.7	0	0.0	0.0	15.7	15.7
San Juan 054	L	47.3	20.4	5.6	10.0	0	0.0	0.0	16.8	16.8
San Juan 038	H	30.2	20.0	15.4	17.0	0	0.0	0.0	17.4	17.4
San Juan 028	H	23.4	18.2	24.5	15.3	0	0.0	0.0	18.5	18.5
San Juan 033	H	30.7	20.5	14.4	15.2	0	0.0	0.0	19.2	19.2
San Juan 018	L	44.8	16.6	5.3	14.1	0	0.0	3.2	16.0	19.2
San Juan 008	LL	56.7	21.9	1.0	1.0	0	0.0	0.0	19.4	19.4
San Juan 058	LL	56.5	16.4	2.2	4.2	0	0.0	0.0	20.7	20.7
San Juan 051	H	30.9	20.4	11.2	16.5	0	0.0	0.0	21.0	21.0
San Juan 022	L	39.7	18.3	6.2	13.3	0	0.0	5.6	16.9	22.6
San Juan 023	H	32.0	17.2	12.6	15.3	0	0.0	4.9	18.1	23.0
San Juan 024	L	40.5	18.8	6.4	10.8	0	0.0	6.4	17.2	23.5
San Juan 041	H/L	38.4	27.8	2.1	5.0	0	9.6	6.0	11.1	26.7
San Juan 044	H	26.7	17.1	14.7	13.3	0	8.3	0.0	20.0	28.3
San Juan 015	L	39.8	14.3	1.9	14.7	0	7.4	4.9	16.9	29.2
San Juan 037	L	41.6	20.2	5.3	3.5	0	11.9	0.0	17.6	29.4
San Juan 049	H	27.8	18.7	10.7	11.8	0	0.0	0.0	31.0	31.0
San Juan 057	L	35.0	18.7	4.9	8.5	0	16.1	4.8	11.9	32.8
San Juan 053	H	26.6	21.7	13.8	4.4	0	15.1	5.6	12.7	33.5

Continuação tabela 4.6(a).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
San Juan 026	L	39.9	19.2	3.1	3.0	0	16.8	0.0	18.0	34.8
San Juan 014	L	39.3	19.0	2.9	3.5	0	14.0	4.1	17.2	35.3
San Juan 032	H	29.1	16.6	7.6	10.6	0	15.7	6.8	13.7	36.2
San Juan 046	H	23.6	19.8	8.5	11.4	0	13.0	0.0	23.6	36.6
San Juan 060	H	25.5	17.0	11.9	8.7	0	18.1	7.6	11.2	36.9
San Juan 036	L	37.2	17.8	2.7	5.4	0	20.1	0.0	16.8	36.9
San Juan 016	H	27.1	15.9	8.2	10.7	0	18.1	6.6	13.4	38.1
San Juan 039	L	31.9	21.5	5.1	1.3	0	20.5	7.4	12.3	40.2
San Juan 030	H	21.4	13.5	21.5	3.0	0	13.1	6.3	21.2	40.6
San Juan 048	H	26.7	16.4	11.1	3.9	0	18.4	6.2	17.2	41.9
San Juan 006	H	26.0	16.4	5.1	8.7	0	16.5	4.8	22.6	43.8
San Juan 007	H	25.6	17.0	2.9	7.6	0	17.7	13.4	15.7	46.9
San Juan 017	H	22.0	13.1	5.1	12.7	0	19.6	10.7	17.0	47.2
San Juan 029	H	20.1	12.4	14.8	5.1	0	16.9	6.4	24.2	47.5
San Juan 012	H	24.2	15.7	4.3	7.7	0	17.9	13.0	17.2	48.1
San Juan 055	H	20.9	17.0	4.8	8.2	0	20.7	12.9	15.6	49.2
San Juan 011	H	23.6	17.7	3.2	4.8	0	22.1	10.5	18.1	50.7
San Juan 027	H	22.2	12.7	9.1	5.2	0	21.1	17.0	12.7	50.8
San Juan 020	H	22.6	12.7	9.6	4.1	0	17.8	16.8	16.4	51.0
San Juan 010	H	21.6	16.6	2.3	3.6	0	27.7	4.9	23.4	55.9
San Juan 003	H	17.2	10.6	2.7	12.7	0	31.3	8.2	17.5	56.9
San Juan 021	H	18.9	11.0	3.9	8.6	0	23.3	21.4	12.8	57.5
San Juan 005	H	18.3	11.0	2.6	10.3	0	20.0	13.5	24.3	57.8
San Juan 045	H	16.3	16.1	6.5	3.3	0	25.7	12.1	20.1	57.8
San Juan 025	H	16.7	14.8	3.9	4.2	0	31.2	9.5	19.8	60.5
San Juan 062	H	14.9	15.6	2.0	2.3	0	33.1	17.3	14.8	65.2

Continuação tabela 4.6(b).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
San Juan 031	L	43.7	20.0	8.4	20.4	5.3	2.2	0.0	0	7.5
San Juan 052	L	43.5	20.4	6.6	18.5	4.0	7.1	0.0	0	11.1
San Juan 059	L	45.4	19.8	6.1	15.4	5.7	7.6	0.0	0	13.3
San Juan 013	L	41.0	18.4	12.0	15.7	6.5	6.3	0.0	0	12.9
San Juan 019	L	41.2	20.1	4.0	15.1	6.4	13.2	0.0	0	19.6
San Juan 004	L	41.6	25.5	6.5	13.4	7.4	5.5	0.0	0	13.0
San Juan 034	L	45.5	20.2	4.3	14.1	4.1	11.8	0.0	0	15.8
San Juan 056	L	44.8	20.1	4.6	17.1	4.5	8.9	0.0	0	13.4
San Juan 054	L	48.8	18.7	4.4	10.9	5.0	12.2	0.0	0	17.2
San Juan 038	H	30.7	21.8	12.7	18.8	4.3	11.8	0.0	0	16.1
San Juan 028	H	21.9	19.8	23.4	14.8	6.5	13.7	0.0	0	20.2
San Juan 033	H	30.9	20.1	15.0	13.8	8.6	11.7	0.0	0	20.2
San Juan 018	L	43.6	16.7	4.8	14.4	10.3	5.5	4.7	0	20.4
San Juan 008	LL	55.0	22.8	1.0	1.0	10.6	9.6	0.0	0	20.2
San Juan 058	LL	55.6	16.4	3.5	3.2	7.2	14.0	0.0	0	21.2
San Juan 051	H	30.6	19.4	9.4	18.3	7.0	15.3	0.0	0	22.2
San Juan 022	L	38.7	18.4	6.2	11.7	6.8	10.8	7.4	0	25.1
San Juan 023	H	31.3	17.0	10.9	13.7	8.0	10.9	8.3	0	27.1
San Juan 024	L	41.2	19.9	5.4	8.9	6.7	9.4	8.6	0	24.6
San Juan 041	H/L	36.2	25.0	6.9	6.1	10.2	9.3	6.3	0	25.8
San Juan 044	H	28.2	15.7	12.3	16.4	6.4	21.0	0.0	0	27.4
San Juan 015	L	39.1	15.2	3.0	15.8	6.7	15.5	4.7	0	26.9
San Juan 037	L	42.3	18.4	5.0	3.8	10.9	19.6	0.0	0	30.5
San Juan 049	H	26.6	19.6	9.3	12.0	11.5	21.1	0.0	0	32.5
San Juan 057	L	34.0	19.6	7.2	10.1	4.4	18.9	5.8	0	29.1
San Juan 053	H	26.5	19.4	13.0	7.5	4.5	21.3	7.9	0	33.7

Continuação tabela 4.6(b).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
San Juan 026	L	37.6	18.9	2.9	4.0	8.9	27.6	0.0	0	36.6
San Juan 014	L	38.7	18.2	4.4	3.7	12.4	16.0	6.5	0	34.9
San Juan 032	H	27.5	16.4	7.8	10.3	13.0	15.9	9.1	0	37.9
San Juan 046	H	25.4	18.2	7.1	13.7	9.4	26.2	0.0	0	35.6
San Juan 060	H	25.6	17.2	8.5	10.2	8.0	24.8	5.7	0	38.6
San Juan 036	L	35.1	16.8	4.7	7.6	13.3	22.5	0.0	0	35.8
San Juan 016	H	24.2	16.4	6.5	12.1	10.6	21.9	8.4	0	40.9
San Juan 039	L	30.7	21.9	4.1	2.0	11.5	21.0	8.9	0	41.3
San Juan 030	H	21.1	13.3	21.3	4.7	10.6	21.7	7.3	0	39.6
San Juan 048	H	25.7	15.4	9.0	7.0	5.7	32.6	4.8	0	43.0
San Juan 006	H	27.7	16.8	5.3	9.4	14.5	20.9	5.5	0	40.8
San Juan 007	H	26.7	16.2	2.9	9.7	9.0	21.7	13.7	0	44.4
San Juan 017	H	23.1	12.3	4.8	12.3	13.1	22.6	11.7	0	47.5
San Juan 029	H	21.7	13.3	13.5	4.6	12.1	26.6	8.1	0	46.9
San Juan 012	H	25.7	17.3	4.3	7.8	7.7	25.0	12.2	0	44.9
San Juan 055	H	20.1	16.6	4.8	8.3	12.4	23.6	14.2	0	50.2
San Juan 011	H	23.8	14.6	3.6	5.7	20.7	21.7	9.9	0	52.3
San Juan 027	H	21.8	11.9	6.6	6.2	11.1	25.1	17.2	0	53.4
San Juan 020	H	22.5	13.9	9.6	4.1	8.3	23.2	18.5	0	50.0
San Juan 010	H	21.7	15.8	2.4	3.7	14.4	35.1	6.9	0	56.4
San Juan 003	H	18.9	11.0	2.2	10.2	8.9	40.2	8.5	0	57.6
San Juan 021	H	20.2	13.5	4.5	8.3	5.7	29.1	18.8	0	53.6
San Juan 005	H	20.2	11.2	1.2	11.6	17.1	26.7	12.0	0	55.8
San Juan 045	H	18.5	13.6	4.1	6.5	8.8	35.5	13.1	0	57.3
San Juan 025	H	18.7	14.2	1.8	4.7	10.2	39.4	10.9	0	60.5
San Juan 062	H	13.9	14.5	1.5	3.9	11.5	38.0	16.8	0	66.3

Tabela 4.7 – Áreas relativas das fases primárias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de El Médano obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Trollita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
El Medano 029	H	45.7	17.2	6.1	8.6	0	0.0	0.0	22.5	22.5
El Medano 026	L	41.2	17.6	4.0	4.0	0	14.8	0.0	18.4	33.1
El Medano 037	L	36.2	21.4	2.9	3.8	0	16.1	0.0	19.6	35.7
El Medano 006	LL	38.9	12.3	5.4	5.4	0	8.9	0.0	30.0	38.9
El Medano 023	L	32.6	17.6	2.8	5.3	0	24.7	0.0	17.0	41.7
El Medano 028	H	33.6	15.9	4.5	3.3	0	17.0	3.9	21.9	42.8
El Medano 007	LL	34.2	15.0	1.4	6.4	0	11.1	0.0	32.0	43.0
El Medano 005	L	30.1	12.6	4.5	5.4	0	22.0	4.1	19.3	45.4
El Medano 016	L	31.8	13.7	3.1	5.5	0	22.5	0.0	23.4	45.9
El Medano 009	L	26.4	16.7	4.0	4.5	0	24.9	0.0	23.5	48.4
El Medano 002	L	29.2	14.0	5.6	1.1	0	26.2	8.5	15.5	50.1
El Medano 004	H	21.5	15.2	6.4	2.6	0	29.4	6.2	18.8	54.4
El Medano 020	L	26.5	15.1	2.4	1.6	0	32.0	0.0	22.5	54.5
El Medano 032	H	18.1	17.0	3.8	6.4	0	32.4	3.2	19.1	54.7
El Medano 003	H	20.4	12.5	8.0	2.5	0	28.7	5.0	23.0	56.6
El Medano 011	H	19.3	17.1	3.1	3.9	0	24.4	3.3	28.8	56.6
El Medano 034	H	17.7	14.3	2.2	8.5	0	32.0	4.7	20.5	57.2
El Medano 017	L	22.5	14.5	3.0	1.0	0	27.6	2.8	28.6	59.0
El Medano 008	L	17.5	12.3	3.9	4.7	0	34.3	7.6	19.7	61.6
El Medano 018	H	18.7	10.2	5.4	3.9	0	37.3	5.4	19.1	61.9
El Medano 030	H	19.6	14.1	1.3	3.9	0	40.6	8.2	13.2	62.1
El Medano 031	H	17.6	10.7	3.9	4.7	0	30.9	6.2	26.0	63.1
El Medano 025	H	19.6	10.0	2.3	5.1	0	28.5	10.1	24.4	63.1
El Medano 022	H	15.3	13.9	5.0	2.7	0	32.6	8.9	21.7	63.2
El Medano 021	H	16.5	12.1	3.6	4.5	0	35.0	8.0	20.4	63.4
El Medano 014	H	17.3	8.3	4.5	6.3	0	36.7	7.5	19.4	63.6
El Medano 012	H	17.4	12.6	3.7	2.3	0	24.3	12.8	26.9	64.0
El Medano 015	H	21.4	6.8	2.7	3.5	0	34.7	7.8	23.2	65.7
El Medano 033	H	17.6	10.6	2.2	3.2	0	30.8	7.8	27.7	66.3
El Medano 036	H	16.4	9.6	2.3	3.5	0	26.9	7.2	34.2	68.3

Continuação tabela 4.7(b).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganéita (%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
El Medano 029	H	44.6	15.9	7.8	9.1	5.8	16.8	0.0	0	22.6
El Medano 026	L	42.2	17.7	4.2	3.4	8.5	24.0	0.0	0	32.6
El Medano 037	L	36.3	20.7	2.7	2.9	13.4	24.0	0.0	0	37.4
El Medano 006	LL	40.5	11.5	4.6	6.4	19.0	18.0	0.0	0	37.0
El Medano 023	L	33.1	19.1	1.9	5.6	18.7	21.7	0.0	0	40.4
El Medano 028	H	32.8	13.5	4.0	5.9	14.4	23.9	5.6	0	43.9
El Medano 007	LL	33.1	15.6	2.2	8.4	20.4	20.4	0.0	0	40.8
El Medano 005	L	30.2	14.9	4.5	6.3	9.3	30.2	4.5	0	44.0
El Medano 016	L	29.7	14.3	3.9	6.4	18.6	27.1	0.0	0	45.7
El Medano 009	L	27.2	16.5	3.2	7.4	17.0	28.6	0.0	0	45.7
El Medano 002	L	27.3	14.8	4.6	2.0	10.1	32.8	8.5	0	51.3
El Medano 004	H	20.8	15.5	4.9	2.7	14.8	35.9	5.4	0	56.1
El Medano 020	L	26.1	16.7	1.0	1.5	17.8	36.8	0.0	0	54.7
El Medano 032	H	18.9	16.1	3.2	9.6	14.5	34.3	3.4	0	52.2
El Medano 003	H	20.4	12.0	7.3	3.6	17.0	34.5	5.3	0	56.8
El Medano 011	H	19.0	17.9	2.1	3.7	26.3	27.7	3.4	0	57.4
El Medano 034	H	17.9	15.4	2.7	8.5	9.7	37.1	8.8	0	55.5
El Medano 017	L	22.7	14.1	2.6	0.8	18.1	33.6	8.1	0	59.8
El Medano 008	L	19.5	14.0	3.5	3.3	13.8	37.4	8.6	0	59.8
El Medano 018	H	18.3	10.8	5.0	6.2	12.6	36.9	10.3	0	59.8
El Medano 030	H	19.4	14.9	1.9	3.2	7.8	44.8	8.0	0	60.6
El Medano 031	H	17.8	11.9	3.6	4.5	13.9	40.9	7.3	0	62.2
El Medano 025	H	19.8	8.7	2.9	5.1	12.1	41.4	10.0	0	63.5
El Medano 022	H	16.3	12.3	5.0	4.6	21.6	31.8	8.4	0	61.8
El Medano 021	H	17.0	13.1	2.5	5.2	19.8	35.9	6.5	0	62.2
El Medano 014	H	18.5	9.7	3.4	6.5	16.7	33.8	11.4	0	61.8
El Medano 012	H	16.0	12.3	2.8	2.7	19.0	35.4	11.9	0	66.3
El Medano 015	H	20.6	6.5	2.5	6.1	20.1	34.0	10.2	0	64.3
El Medano 033	H	16.7	12.1	2.4	3.8	19.3	37.6	8.0	0	65.0
El Medano 036	H	15.7	11.3	4.5	2.2	21.3	36.8	8.2	0	66.3

Tabela 4.8 – Áreas relativas das fases primárias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de Caleta el Cobre obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita (%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
Caleta el Cobre 010	L	35.5	18.6	2.5	9.2	0	14.2	0.0	20.1	34.3
Caleta el Cobre 009	L	37.4	20.7	2.4	4.5	0	12.8	0.0	22.2	35.0
Caleta el Cobre 005	H	25.2	19.0	10.6	8.6	0	14.6	3.2	18.8	36.7
Caleta el Cobre 012	L	36.4	16.2	1.7	7.7	0	12.3	0.0	25.6	37.9
Caleta el Cobre 013	L	34.4	16.0	3.6	3.5	0	17.1	4.9	20.5	42.5
Caleta el Cobre 004	H	26.4	21.0	3.9	4.1	0	14.8	0.0	29.8	44.6
Caleta el Cobre 015	L	31.1	20.2	2.4	2.6	0	14.3	0.0	30.5	44.8
Caleta el Cobre 006	L	23.2	15.1	6.9	7.8	0	13.1	5.3	28.7	47.1
Caleta el Cobre 017	H	25.4	14.1	3.3	6.0	0	30.7	0.0	20.5	51.2
Caleta el Cobre 011	L	27.2	14.9	2.7	2.2	0	23.3	0.0	29.7	53.0
Caleta el Cobre 016	H	21.5	15.4	3.1	6.6	0	32.5	0.0	20.9	53.4
Caleta el Cobre 003	H	19.8	12.4	2.1	8.4	0	27.7	6.4	23.3	57.3
Caleta el Cobre 002	H	17.7	13.2	2.0	2.0	0.0	37.1	9.2	18.8	65.1
Caleta el Cobre 007	L	12.7	10.9	1.8	2.3	0	35.4	6.7	26.3	68.4

Continuação tabela 4.8(b).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita (%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
Caleta el Cobre 010	L	35.0	19.8	3.2	10.0	7.3	24.8	0.0	0	32.1
Caleta el Cobre 009	L	37.3	21.3	3.7	5.3	9.2	23.1	0.0	0	32.3
Caleta el Cobre 005	H	25.8	20.1	7.8	9.0	11.3	23.5	2.5	0	37.3
Caleta el Cobre 012	L	33.4	17.9	4.8	8.0	8.0	28.0	0.0	0	36.0
Caleta el Cobre 013	L	33.7	16.9	3.9	3.3	7.9	29.2	5.1	0	42.2
Caleta el Cobre 004	H	25.2	20.9	6.4	3.8	17.7	26.0	0.0	0	43.7
Caleta el Cobre 015	L	32.4	20.6	1.7	3.2	10.4	31.7	0.0	0	42.1
Caleta el Cobre 006	L	23.4	14.9	7.2	8.7	10.2	28.9	6.7	0	45.8
Caleta el Cobre 017	H	25.2	15.5	2.5	5.2	16.9	34.7	0.0	0	51.6
Caleta el Cobre 011	L	27.7	16.1	2.5	2.8	7.5	43.4	0.0	0	50.9
Caleta el Cobre 016	H	22.1	15.8	2.2	6.8	10.4	42.6	0.0	0	53.0
Caleta el Cobre 003	H	18.5	13.2	3.2	8.0	16.7	32.7	7.8	0	57.1
Caleta el Cobre 002	H	16.1	13.7	1.41	4.6	11.1	40.2	12.9	0	64.3
Caleta el Cobre 007	L	14.1	11.6	1.8	3.8	15.4	44.5	8.7	0	68.6

Tabela 4.9 – Áreas relativas das fases primárias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas na área de Pampa de Mejillones obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
PdM 014	LL	45.5	23.2	4.0	13.6	0	0.0	0.0	13.4	13.4
La Yesera 002	LL	38.0	26.8	3.6	11.7	0	0.0	3.0	17.0	20.0
La Yesera 004	L	35.3	18.9	3.1	6.7	0	13.1	12.2	10.7	35.9
Pampa B	L	34.5	14.8	2.4	11.3	0	16.9	5.8	14.3	37.1
PdM 002	H	21.8	13.5	4.2	15.3	0	13.3	8.2	23.7	45.2
Pampa D	L	30.0	17.3	2.9	2.4	0	21.4	14.0	12.0	47.4
PdM 004	L	29.4	16.8	2.4	3.8	0	18.1	13.1	16.4	47.7
La Yesera 003	L	25.3	16.1	3.1	3.2	0	20.5	9.6	22.3	52.4
Pampa G	L	20.4	13.8	3.6	2.5	0	27.7	15.8	16.2	59.7
PdM 007	L	19.4	12.4	2.2	2.5	0	24.9	23.3	15.3	63.5
PdM 012	H	12.0	8.3	3.1	2.2	0	31.4	31.0	11.9	74.3

Continuação tabela 4.9(b).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeita(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
PdM 014	LL	45.1	18.6	3.3	14.2	9.9	9.0	0.0	0	18.9
La Yesera 002	LL	39.1	26.9	1.4	9.6	4.7	14.3	4.1	0	23.1
La Yesera 004	L	37.2	20.0	1.3	3.5	6.3	19.2	12.5	0	38.1
Pampa B	L	36.4	16.5	2.0	11.1	7.6	20.3	6.1	0	34.1
PdM 002	H	20.6	13.1	2.3	16.8	11.1	23.4	12.7	0	47.2
Pampa D	L	30.4	15.9	1.9	4.0	10.5	22.8	14.6	0	47.9
PdM 004	L	29.2	15.3	1.7	2.8	6.7	29.7	14.5	0	50.9
La Yesera 003	L	27.2	15.9	1.2	4.3	9.5	31.8	10.1	0	51.4
Pampa G	L	21.6	13.2	2.0	3.2	8.3	36.8	15.0	0	60.1
PdM 007	L	20.4	12.3	1.5	3.2	7.6	34.2	20.7	0	62.5
PdM 012	H	12.8	8.7	2.0	3.0	12.3	32.6	28.7	0	73.6

Tabela 4.10 – Áreas relativas das fases primárias e dos produtos do intemperismo para meteoritos coletadas em Outras Localidades obtidas: a) 300 K e b) 4,2 K.

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeíta(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
Lutschaunig's stone	L	38.0	21.7	7.6	21.8	0	0.0	0.0	10.9	10.9
Estación Imilac	H	26.5	21.2	11.1	13.6	0	10.8	5.0	11.8	27.6
Rencoret	H	27.9	14.4	6.0	5.9	0	10.4	14.0	21.4	45.8

Continuação tabela 4.10(b).

Meteorito	Classificação	Fases Primárias				Produtos do Intemperismo				Oxidação total (%)
		Olivina (%)	Piroxênio (%)	Fe-Ni (%)	Troilita (%)	Akaganeíta(%)	Goethita (%)	Maghemita (%)	DS-Fe ³⁺ (%)	
Lutschaunig's stone	L	39.5	20.7	6.7	20.6	7.5	5.1	0.0	0	12.6
Estación Imilac	H	27.4	22.3	11.9	15.0	7.5	15.9	0.0	0	23.4
Rencoret	H	25.8	15.6	3.4	8.2	10.3	23.2	13.4	0	46.9

4.2 – DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Para dar continuidade ao nosso estudo dos efeitos do intemperismo em material extraterrestre nas diferentes áreas do deserto de Atacama, são necessárias medidas de difração de raios-X (ver apêndice B). Estas medidas são de fundamental importância na determinação e quantificação das fases mineralógicas que sofreram transformações pelo efeito do intemperismo terrestre. A utilização da difração de raios-X tradicional (DRX-T) é muito complexa dado que os meteoritos são sistemas multifásicos, com a presença de, no mínimo, 7 fases simultâneas primárias. Pelo menos três dessas fases são minerais não estequiométricos (piroxênios, olivinas e plagioclásios), aumentando a superposição entre os picos de difração. O número de fases oxidadas por processos de intemperismo pode ser superior a três. Medidas utilizando difratometria de raios-X tradicional exigem longo tempo de coleta de dados. Só medidas de difração de raios-X com radiação síncrotron (DRX-RS) (ver apêndice C) podem resolver todas essas fases, permitindo assim uma correta interpretação dos processos ocorridos nessas amostras. Estas medidas permitem uma melhor resolução dos picos de difração e uma melhor separação das contribuições de cada fase presente. Estas condições são imprescindíveis na quantificação pelo Método de Rietveld, pois a superposição e a pouca resolução dos picos aumenta a incerteza e o erro nos ajustes.

O refinamento Rietveld é realizado com software MAUD (Lutterotti, 2010) com uma função Pseudo-voigt para descrever os picos e uma função de Caglioti para descrever a largura do pico à meia altura como uma função do ângulo. A composição de todas as fases é mantida constante durante o refinamento, porém o conteúdo de ferro das fases olivina e piroxênio são devidamente ajustados aos valores encontrados pela microsonda (Tabela 3.1, Capítulo 3). A comparação entre a quantificação das fases obtidas pela análise dos difratogramas pelo método de Rietveld e a espectroscopia Mössbauer só pode ser realizada convertendo os resultados da difração de raios-X de percentagem em peso (% wt) para percentagem atômica de ferro (% at). Esta conversão é feita usando a percentagem de ferro de cada fase cristalográfica, o número de

moléculas na cela unitária e a massa total de cada fase. Em seguida serão apresentados os resultados obtidos com DRX-T e DRX-RS.

4.2.1 – Difração de Raios-X Tradicional (DRX-T)

As medidas de difração de raios-X tradicional foram realizadas no Laboratório de Cristalografia e Difração de Raios-X do CBPF, utilizando um difratômetro X'Pert pro da Panalytical com detector de estado sólido e um tempo de aquisição de 50s e um intervalo 2θ de 20° até 80° .

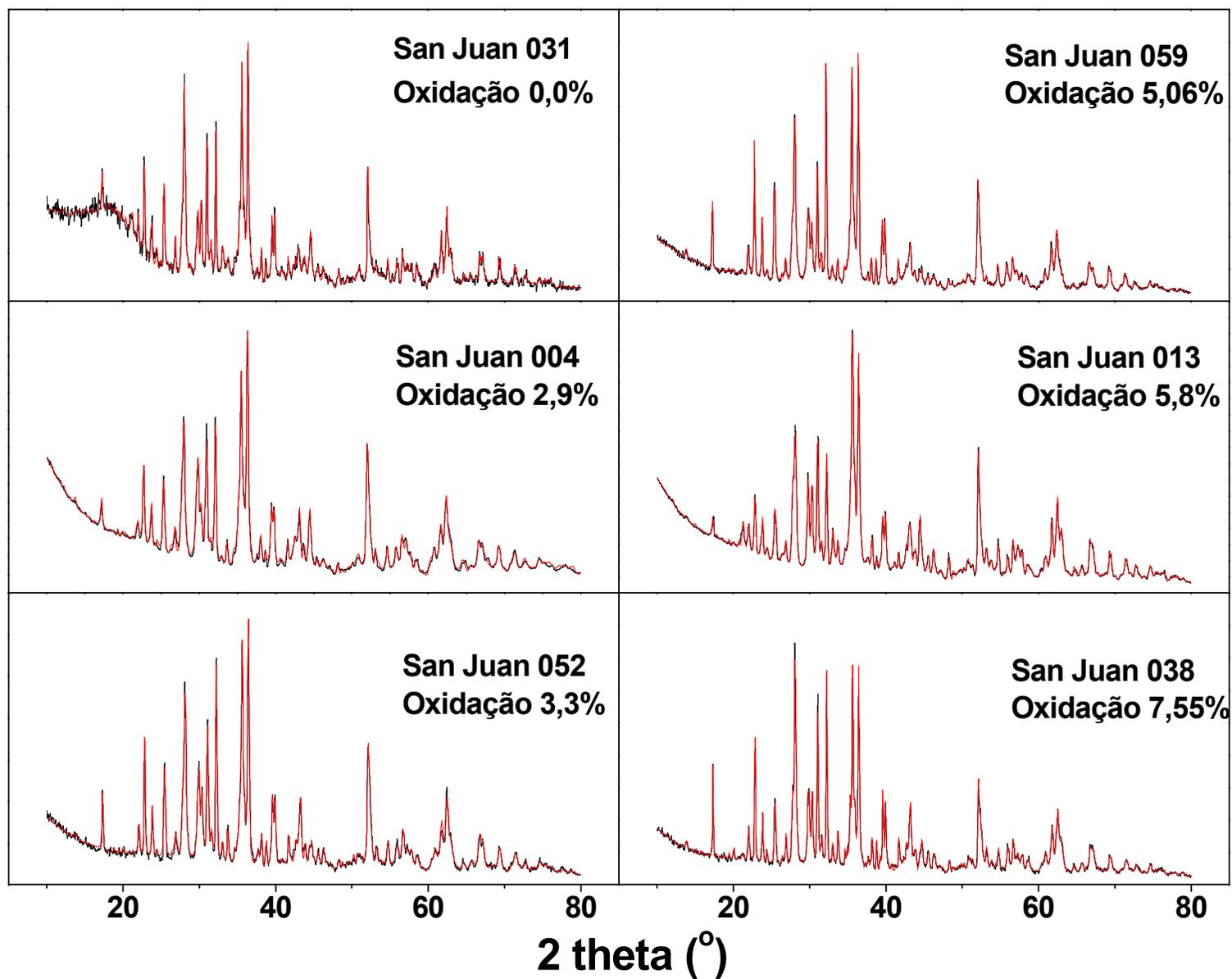
Na figura 4.8 são apresentados difratogramas para os meteoritos da área de SJ & OL. Os difratogramas apresentam em geral uma boa relação sinal/ruído e são identificadas as fases primárias: olivina, ortopiroxênio, diópsido, albita, anortita, kamacita, troilita e os produtos de oxidação: goethita, maghemita, nchwangingite e akaganeita em algumas amostras. A quantificação das fases expressas em % wt e % at. Fe são apresentadas nas tabelas 4.11 e 4.12.

4.2.2 – Difração de Raios-X com Radiação Síncrotron (DRX-RS)

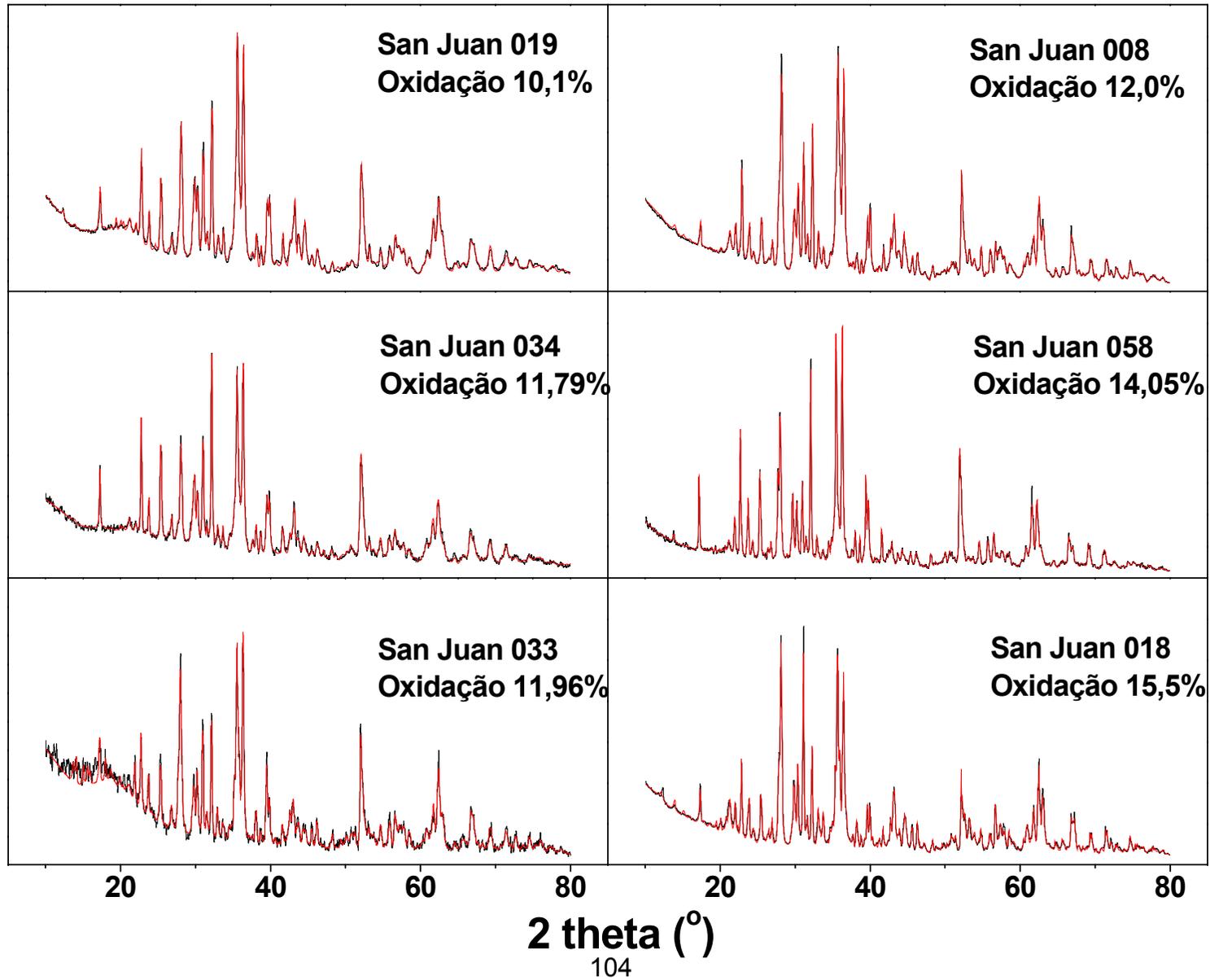
As medidas de difração de Raios-X com radiação Síncrotron foram realizadas no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) nas linhas XRD1 (proposta 7719) e XRD2 (proposta 9818) para as amostras de PM, OL e SJ respectivamente. As medidas das amostras da área de PM são medidas com um comprimento de onda de $1,96888 \text{ \AA}$, e as de SJ com um comprimento de onda de $1,127130 \text{ \AA}$. Estes comprimentos de onda foram escolhidos em função das facilidades das linhas XRD1 e XRD2. A configuração foi a seguinte: difratômetro Huber com geometria theta-2theta, fendas de entrada $H=4 \text{ mm}$; $V=1 \text{ mm}$, fendas de espalhamento $H=5 \text{ mm}$; $V=2 \text{ mm}$, fenda do detector $V=2 \text{ mm}$ e detector cyberstar. Os dados são coletados em um intervalo 2θ de 10° até 110° para as amostras de PM & OL e de 20° até 70° para as amostras de SJ, com um tempo de aquisição determinado pelo total de fótons que chegam ao monitor de calibração. As medidas de difração (figura 4.9) mostram uma alta intensidade e picos bem definidos com um baixo background e são identificadas as fases primárias: olivina, ortopiroxênio, diópsido, albita, anortita, kamacita, troilita e os produtos de oxidação: goethita, maghemita, nchwangingite

e akaganeita em algumas amostras. A quantificação das fases expressas em % wt e % at. Fe são apresentadas nas tabelas 4.13 e 4.14.

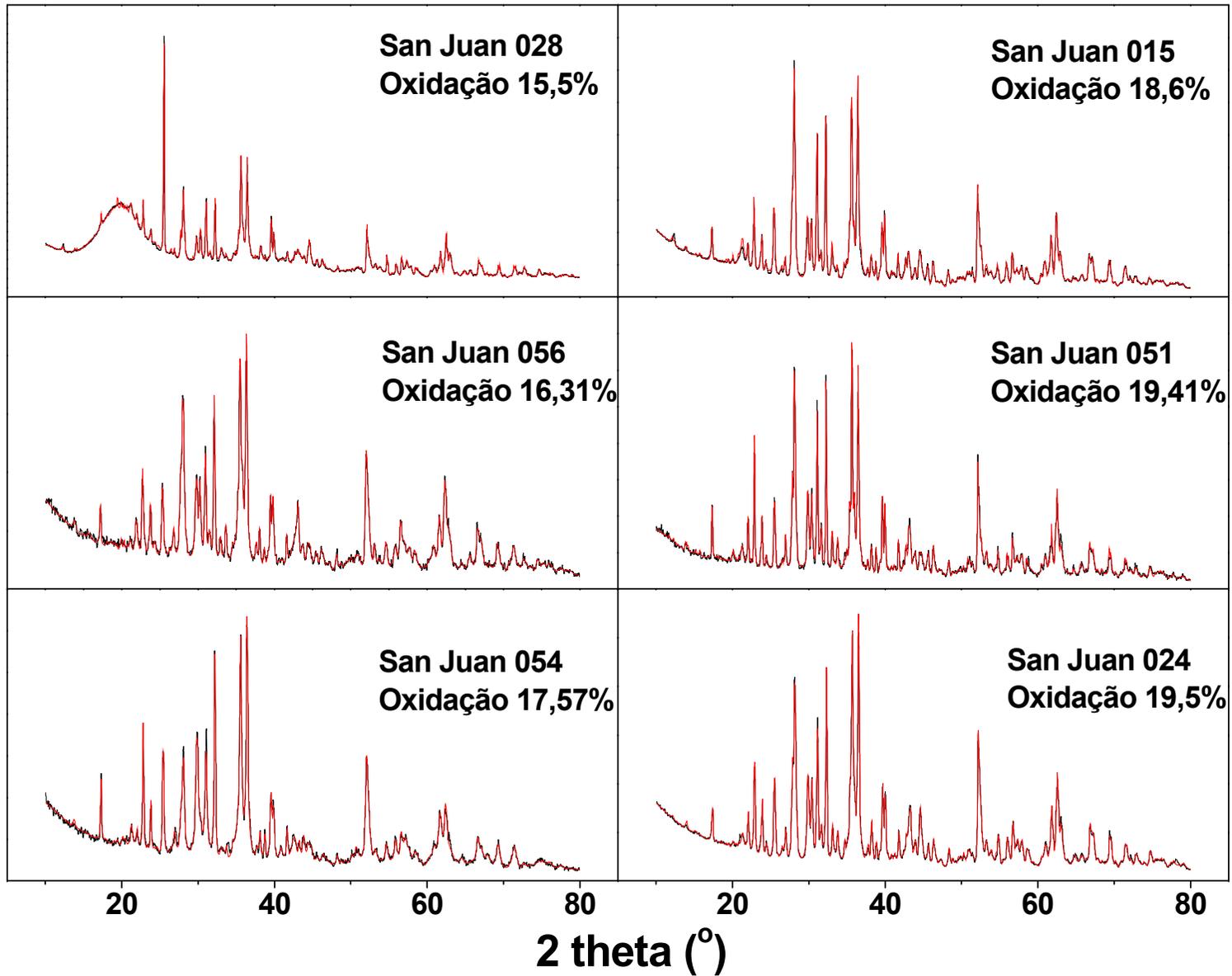
Figura 4.8 – Difratomogramas de Raios-X medidos utilizando a difração tradicional para meteoritos recuperados na área de SJ.



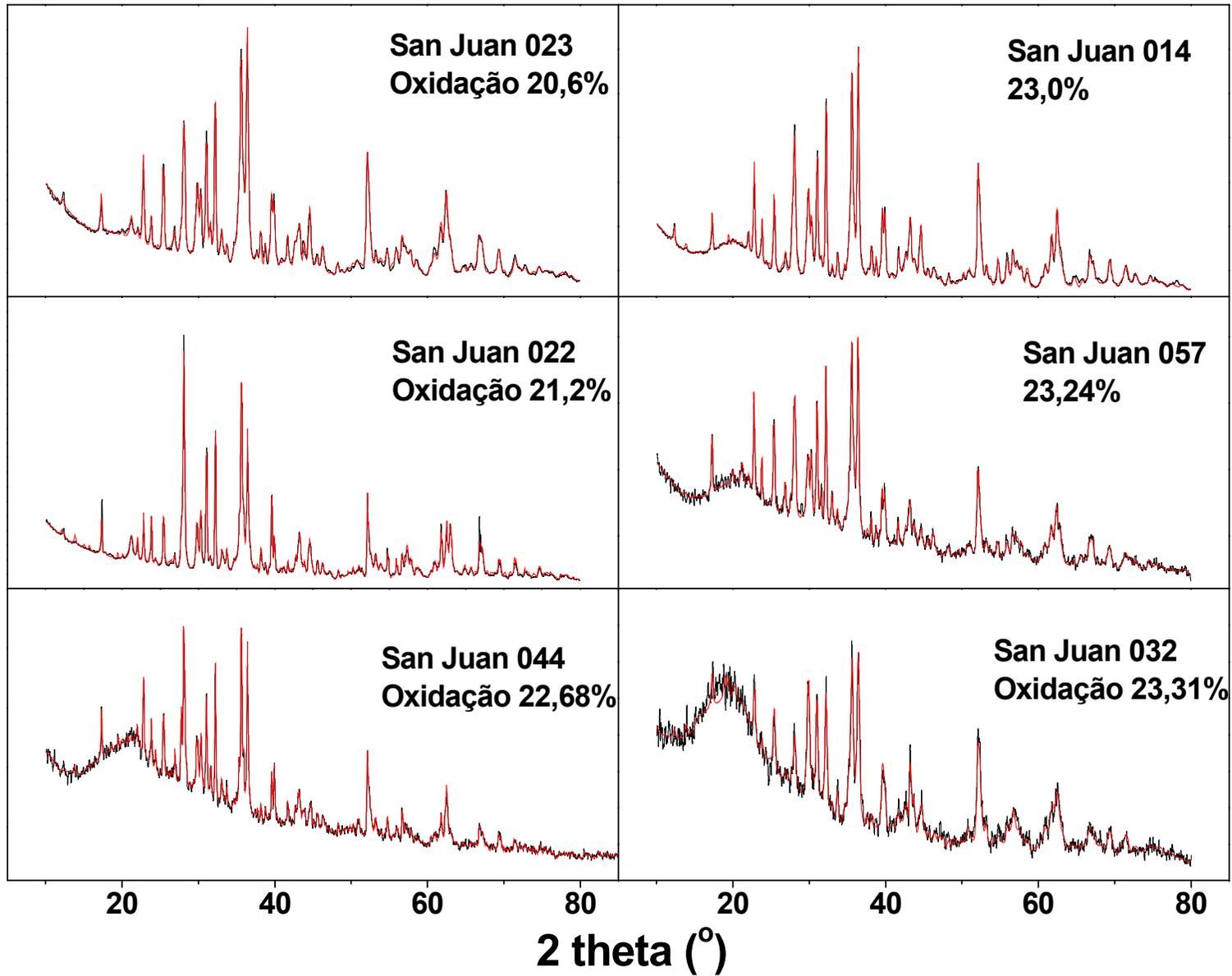
Continuação figura 4.8.



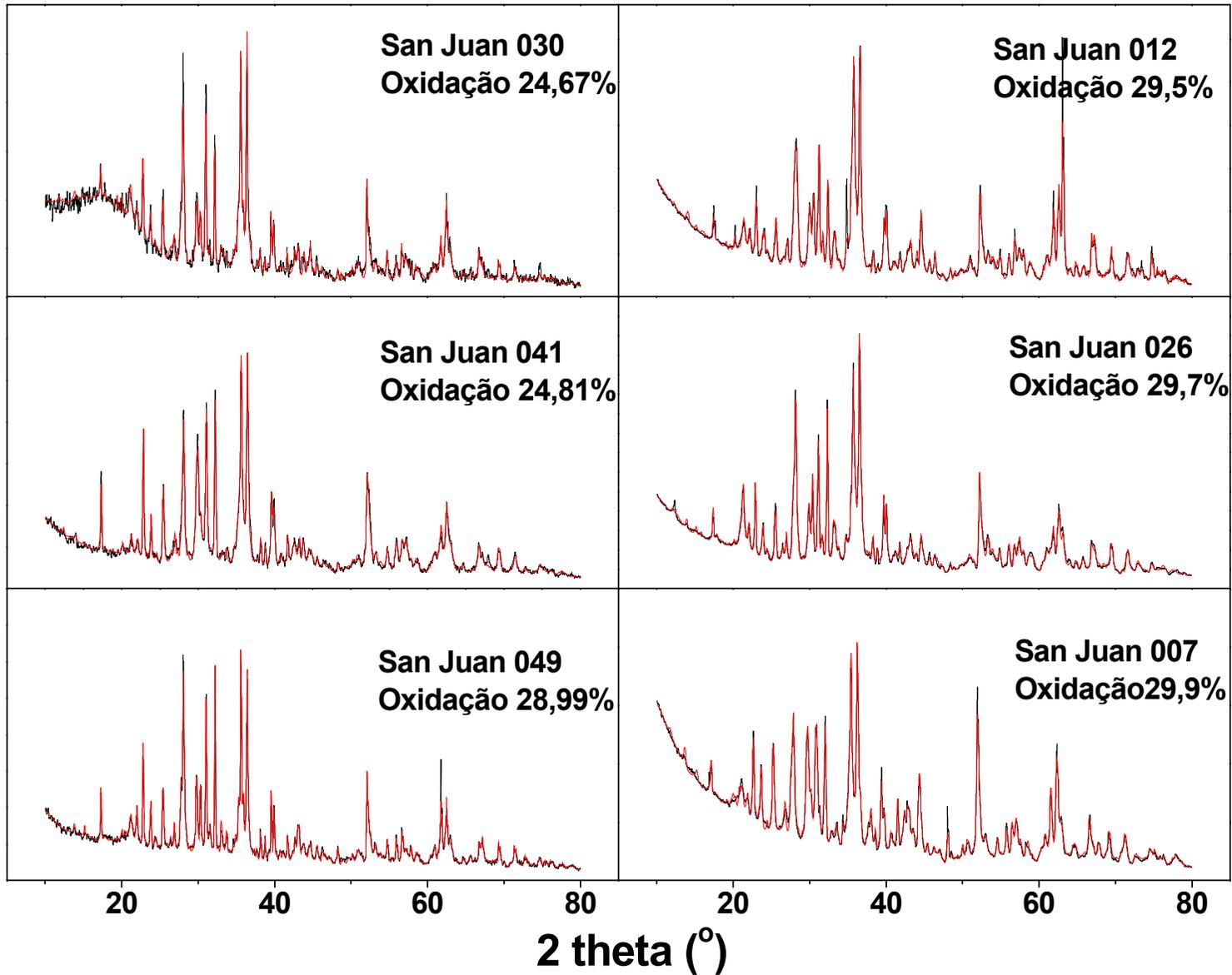
Continuação figura 4.8.



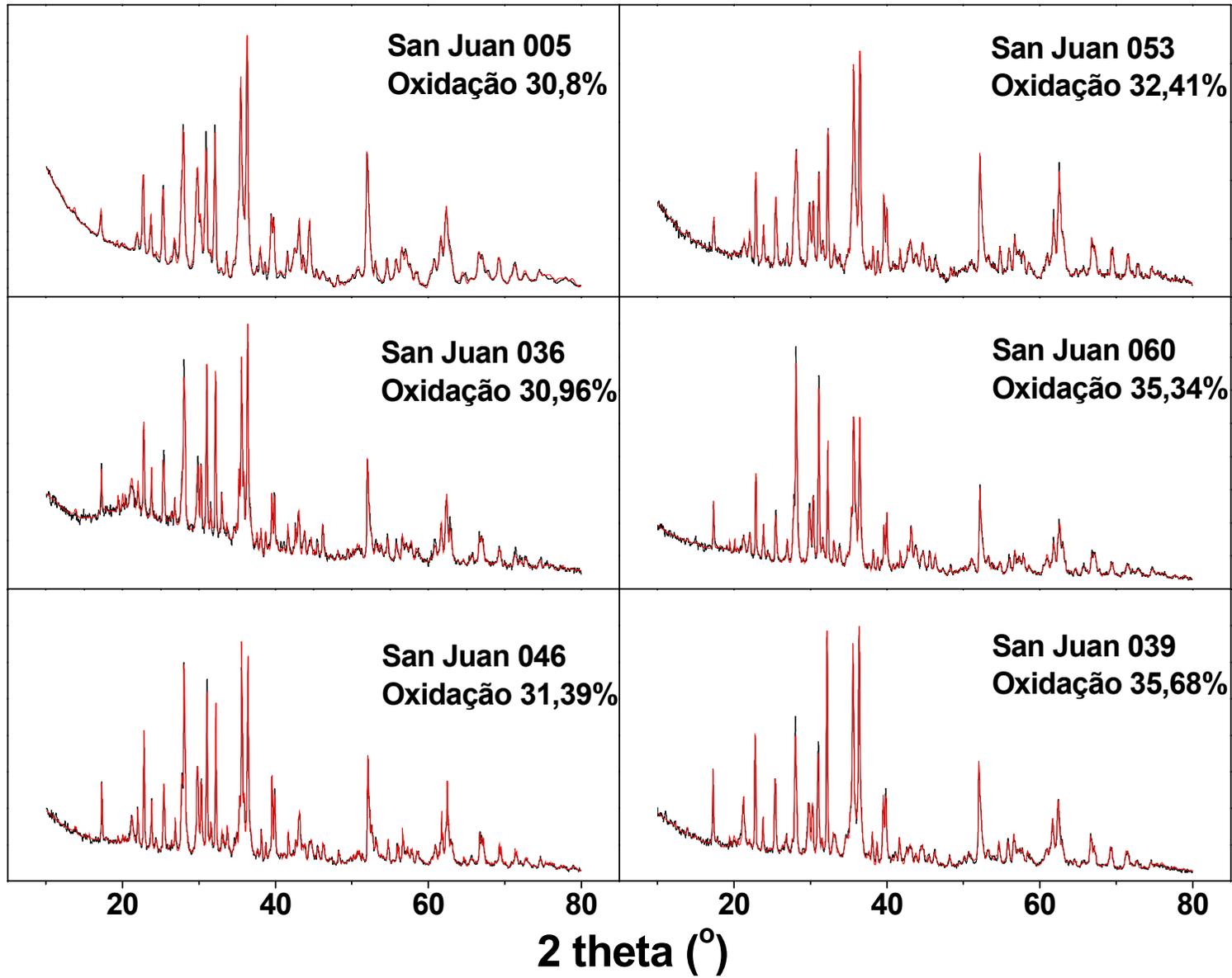
Continuação figura 4.8.



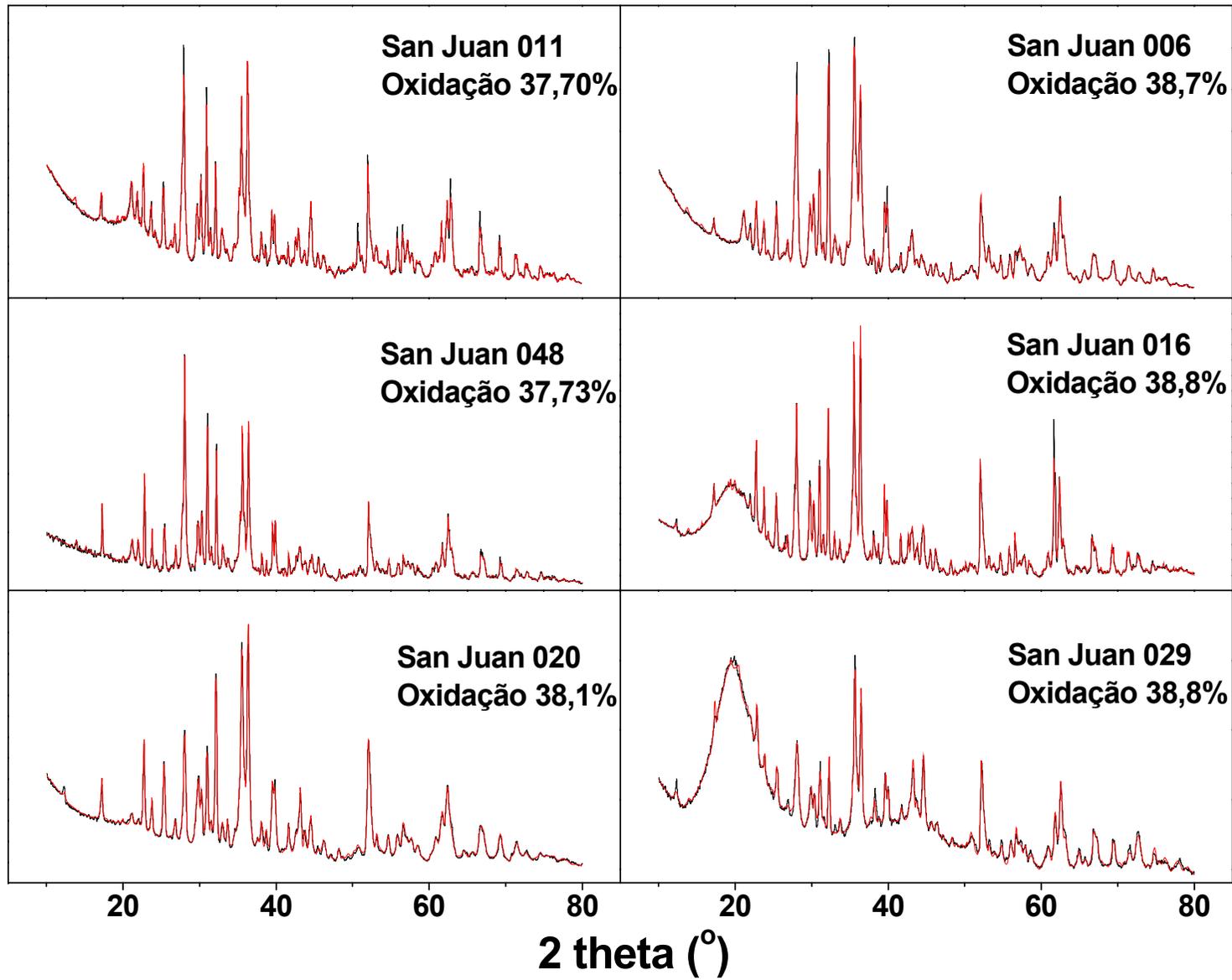
Continuação figura 4.8.



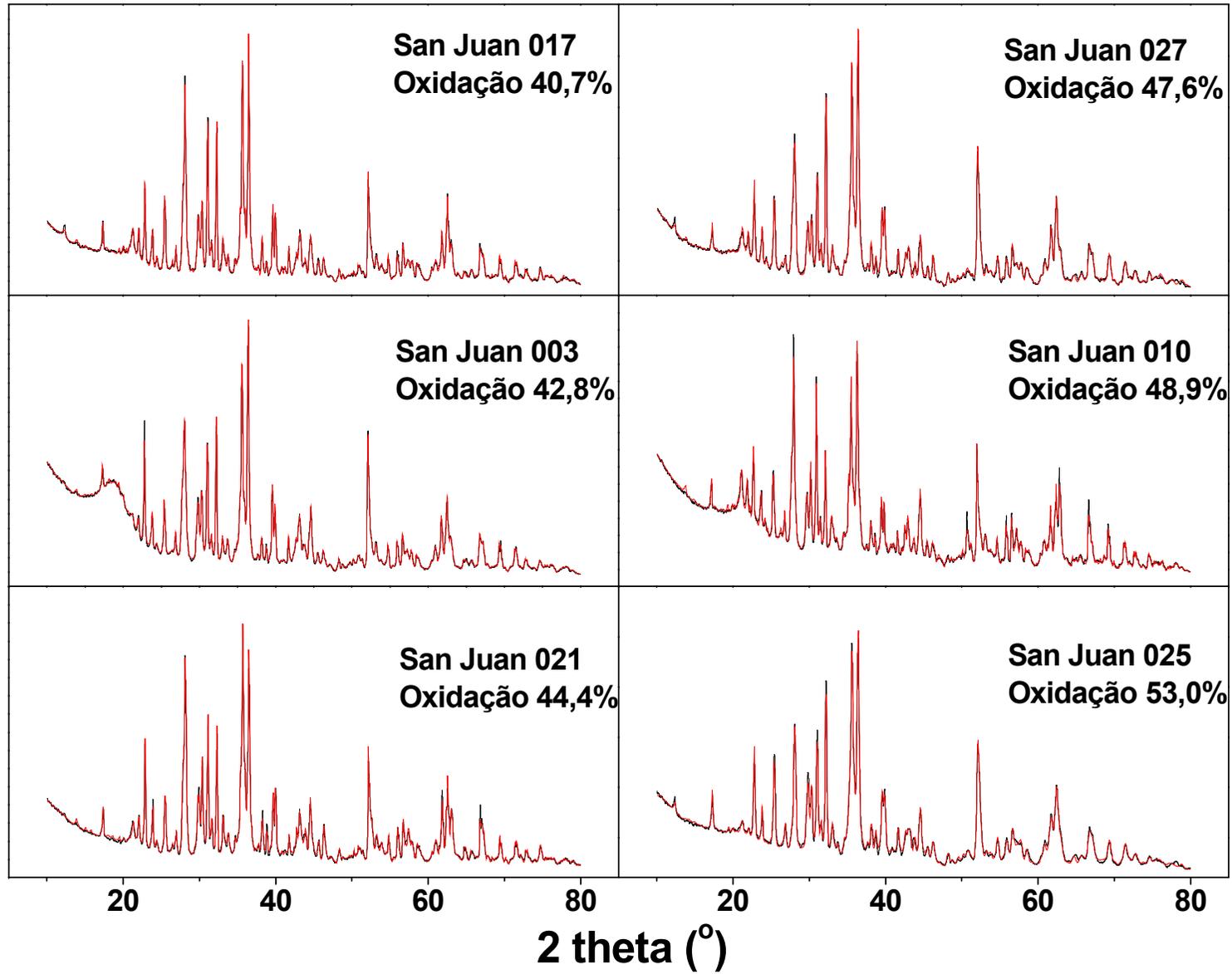
Continuação figura 4.8.



Continuação figura 4.8.



Continuação figura 4.8.



Continuação figura 4.8.

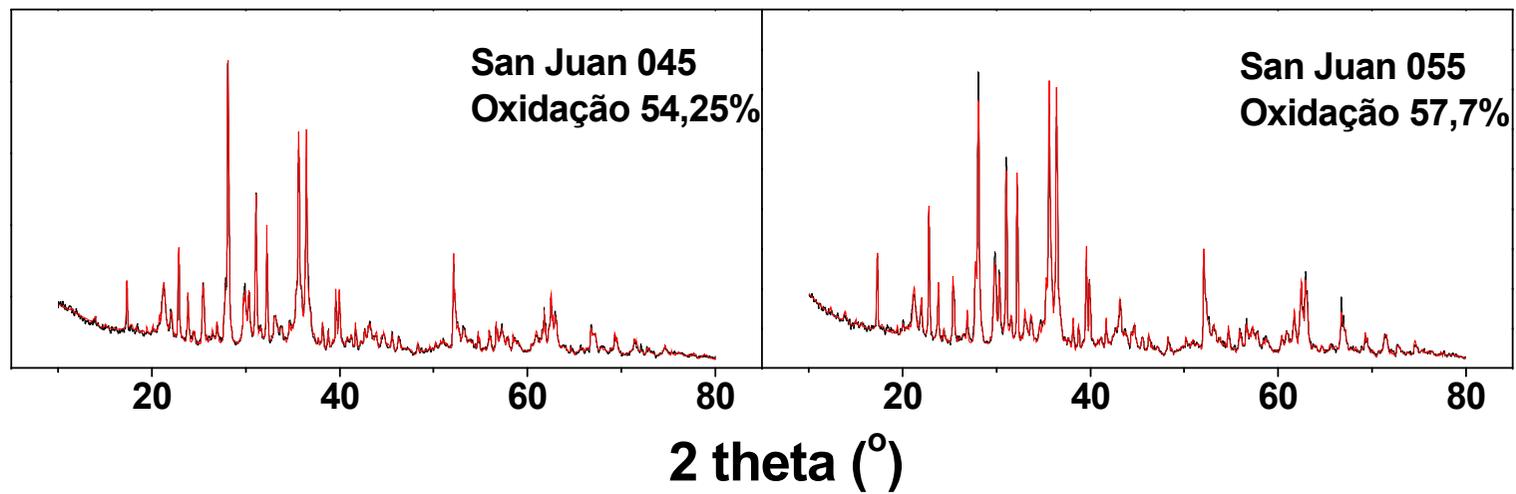


Tabela 4.11 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % wt, a partir dos difratogramas obtidos por DRX-T para meteoritos recuperados na área de SJ.

Meteorito	Olivina (wt.%)	Piroxênios (wt.%)			Plagioclase (wt.%)		Opacos (wt.%)		Óxidos de ferro (wt.%)		
	Olivina	Ortopiroxênio	Diópsido	Nchwangingita	Anortita	Albita	Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
San Juan 003	39.0	41.6	0.4	0.0	0.0	6.5	0.0	1.5	9.3	0.0	1.8
San Juan 004	51.2	31.7	9.5	0.6	0.0	3.6	0.6	2.3	0.6	0.0	0.0
San Juan 005	45.8	31.9	6.5	0.0	0.0	5.5	1.0	1.8	6.3	0.0	1.2
San Juan 006	46.2	25.7	9.7	0.0	0.0	7.2	1.0	1.0	6.9	0.6	1.7
San Juan 007	36.1	43.3	5.0	0.0	0.0	7.2	0.4	1.6	4.1	0.0	2.3
San Juan 008	55.5	26.4	9.1	0.0	0.0	5.1	0.4	0.4	3.1	0.0	0.0
San Juan 010	36.3	38.4	1.6	0.0	0.0	6.0	1.8	1.0	12.7	0.0	2.2
San Juan 011	41.9	32.6	6.6	0.0	0.0	6.8	1.3	1.4	7.0	0.0	2.4
San Juan 012	40.6	37.3	6.5	0.0	0.0	6.2	0.8	1.6	4.6	0.0	2.4
San Juan 013	47.4	32.9	7.1	2.0	0.0	5.2	1.3	2.8	1.3	0.0	0.0
San Juan 014	47.9	33.8	5.4	0.9	0.0	5.7	0.0	0.9	4.4	0.0	1.0
San Juan 015	43.6	30.4	8.5	1.3	0.0	6.7	0.9	3.9	3.8	0.0	0.9
San Juan 016	47.3	29.4	4.1	1.3	0.0	6.0	0.7	1.6	7.5	0.0	2.1
San Juan 017	34.8	39.8	6.3	0.5	0.0	6.2	0.4	2.0	7.3	0.0	2.8
San Juan 018	50.1	34.0	6.8	1.0	0.0	0.0	1.2	2.9	3.6	0.0	0.5
San Juan 019	57.0	31.3	4.4	1.0	0.0	0.9	0.5	2.8	2.1	0.0	0.0
San Juan 020	40.2	36.9	8.1	0.0	0.0	4.9	0.8	0.6	5.2	0.0	3.4
San Juan 021	40.1	32.6	4.4	0.9	0.0	5.0	0.8	2.1	9.2	0.0	5.0
San Juan 022	51.1	33.2	7.0	0.8	0.0	0.7	0.9	1.6	3.8	0.0	0.8
San Juan 023	44.2	34.8	6.7	0.0	0.0	6.8	0.7	2.0	3.5	0.0	1.4
San Juan 024	52.1	34.1	6.9	1.3	0.0	0.0	0.8	1.0	2.8	0.0	1.2
San Juan 025	39.6	36.9	2.8	0.5	0.0	4.9	0.3	0.5	12.0	0.0	2.4
San Juan 026	50.9	30.2	4.8	1.1	0.0	6.1	0.8	0.6	5.6	0.0	0.0
San Juan 027	36.7	38.8	4.4	1.2	0.0	5.8	0.6	0.7	9.0	0.0	2.8
San Juan 028	40.2	41.8	3.9	1.9	0.0	0.0	4.6	2.7	2.7	2.3	0.0
San Juan 029	38.7	36.0	7.9	0.5	0.0	6.4	0.5	0.9	6.7	0.9	1.6

Continuação tabela 4.11.

Meteorito	Olivina (wt.%)	Piroxênios (wt.%)			Plagioclase (wt.%)		Opacos (wt.%)		Óxidos de ferro (wt.%)		
	Olivina	Ortopiroxênio	Diópsido	Nchwaningita	Anortita	Albita	Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
San Juan 030	44.6	35.0	3.3	0.7	0.0	5.2	3.6	0.8	5.2	0.0	1.7
San Juan 031	49.9	29.3	13.7	1.7	0.0	0.0	1.5	4.1	0.0	0.0	0.0
San Juan 032	48.2	36.1	4.7	0.0	0.0	4.5	0.0	1.6	3.9	0.0	1.0
San Juan 033	50.2	28.0	5.2	0.0	0.0	9.6	2.4	2.5	2.1	0.0	0.0
San Juan 034	57.2	29.4	5.9	0.0	0.5	1.8	0.4	2.6	2.2	0.0	0.0
San Juan 036	62.9	21.0	5.3	0.0	0.0	2.9	0.6	1.0	6.4	0.0	0.0
San Juan 038	54.3	24.0	7.7	0.0	0.0	7.1	1.9	3.7	1.3	0.0	0.0
San Juan 039	47.7	36.8	4.6	0.4	1.1	0.0	0.9	0.5	6.1	0.3	1.5
San Juan 041	49.2	24.5	14.0	0.7	3.8	1.1	1.3	1.3	2.8	0.4	1.3
San Juan 044	48.8	29.5	6.7	0.0	0.0	5.8	1.8	3.0	4.3	0.0	0.0
San Juan 045	40.9	26.7	7.0	0.0	1.5	6.2	1.7	1.0	12.5	0.5	2.6
San Juan 046	49.7	28.8	5.7	0.0	0.0	7.2	1.4	1.5	5.8	0.0	0.0
San Juan 048	50.2	24.9	6.7	0.0	0.0	7.9	1.7	1.2	6.4	0.0	0.9
San Juan 049	43.2	34.3	5.3	0.0	0.0	6.2	1.4	2.9	6.5	0.2	0.0
San Juan 051	49.2	31.3	3.4	0.0	0.0	7.3	1.7	3.2	3.4	0.5	0.0
San Juan 052	50.0	35.3	6.8	0.0	0.9	2.7	1.0	2.8	0.5	0.0	0.0
San Juan 053	46.8	31.0	6.2	0.4	0.0	6.8	2.0	1.0	4.8	0.0	1.1
San Juan 054	58.4	25.1	6.8	0.0	1.4	2.8	1.0	1.3	3.2	0.0	0.0
San Juan 055	53.0	20.3	6.5	0.7	0.0	5.9	0.5	1.7	7.6	0.0	3.7
San Juan 056	64.5	22.5	5.2	0.0	0.0	3.6	0.5	1.8	1.7	0.0	0.2
San Juan 057	52.3	32.1	5.1	0.0	2.9	0.0	0.8	2.3	3.3	0.0	1.3
San Juan 058	63.4	21.8	5.8	0.0	0.0	5.4	0.6	0.5	2.6	0.0	0.0
San Juan 059	58.3	25.3	4.7	0.0	0.0	6.7	1.0	3.1	0.9	0.0	0.0
San Juan 060	51.1	26.1	4.9	0.0	0.0	9.6	1.2	1.7	5.0	0.0	1.5

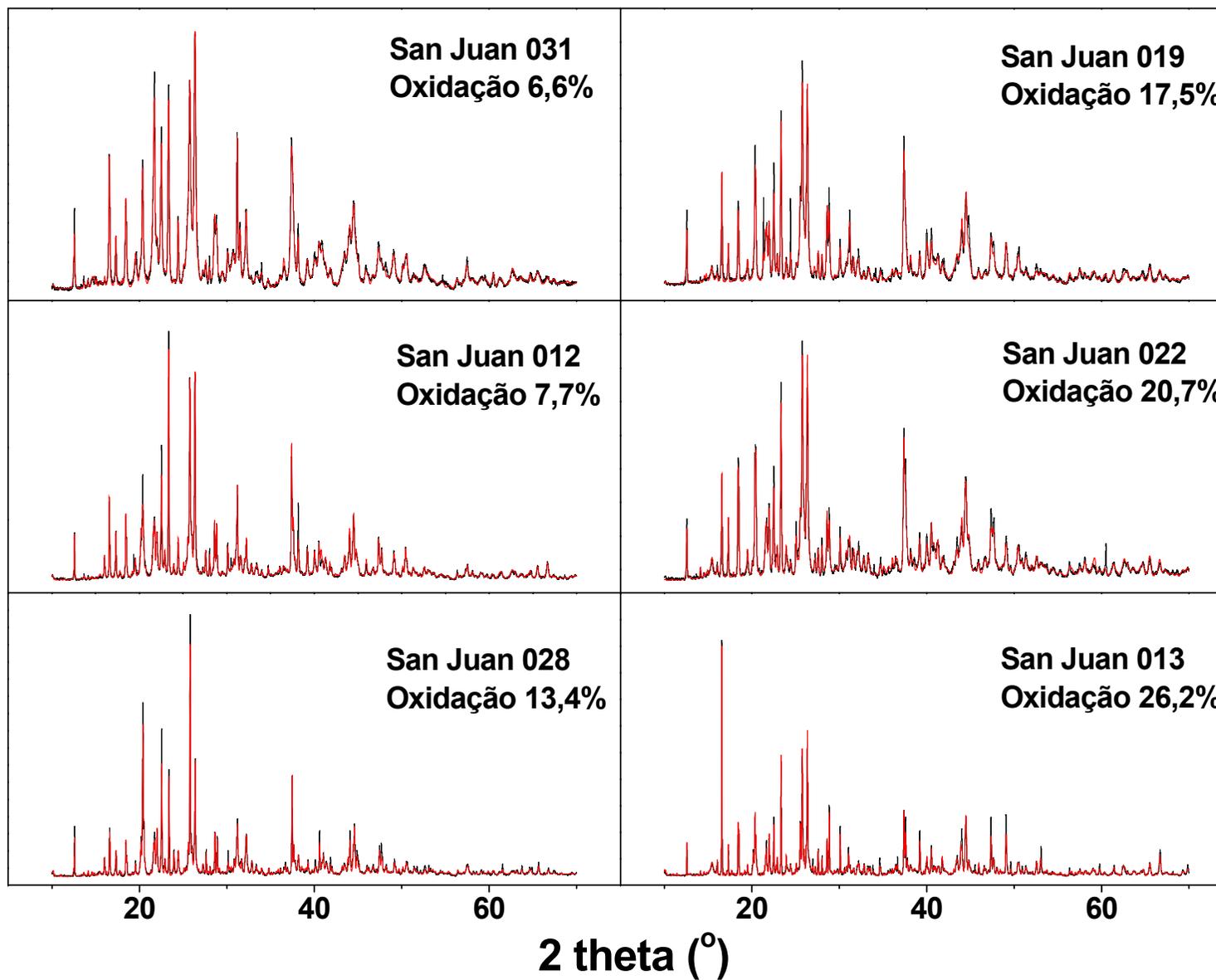
Tabela 4.12 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % at. Fe, a partir dos difratogramas obtidos por DRX-T para meteoritos recuperados na área de SJ.

Meteorito	Olivina (% at. Fe)	Ortopiroxênio (% at. Fe)	Opacos (% at. Fe)		Óxidos de ferro (% at. Fe)		
			Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
San Juan 003	30.2	21.3	0.0	5.7	35.1	0.0	7.6
San Juan 004	61.1	22.0	3.4	10.5	2.9	0.0	0.0
San Juan 005	39.5	17.4	5.2	7.1	25.3	0.0	5.4
San Juan 006	40.2	11.6	5.5	4.1	29.3	1.5	7.9
San Juan 007	34.4	26.2	2.4	7.2	18.7	0.0	11.2
San Juan 008	64.2	20.2	2.0	1.6	12.0	0.0	0.0
San Juan 010	23.9	16.8	7.3	3.1	40.9	0.0	8.0
San Juan 011	33.3	17.2	6.5	5.3	27.3	0.0	10.4
San Juan 012	36.3	22.3	4.4	6.5	19.4	0.0	10.1
San Juan 013	56.4	17.3	7.6	12.9	5.8	0.0	0.0
San Juan 014	50.6	22.5	0.0	3.9	18.5	0.0	4.5
San Juan 015	43.5	18.5	4.2	15.3	14.8	0.0	3.8
San Juan 016	36.5	14.9	3.4	6.4	29.5	0.0	9.3
San Juan 017	28.2	21.4	1.7	8.0	28.6	0.0	12.1
San Juan 018	47.3	20.3	5.7	11.2	13.6	0.0	1.9
San Juan 019	53.9	19.4	2.7	13.8	10.1	0.0	0.0
San Juan 020	34.4	20.6	4.4	2.6	22.1	0.0	16.0
San Juan 021	30.0	16.5	3.0	6.3	27.6	0.0	16.8
San Juan 022	46.8	20.1	4.8	7.2	17.0	0.0	4.2
San Juan 023	45.1	22.4	3.8	8.2	14.2	0.0	6.4
San Juan 024	49.4	21.3	5.0	4.8	13.3	0.0	6.2
San Juan 025	27.9	16.1	1.2	1.9	43.5	0.0	9.5
San Juan 026	42.2	19.3	5.4	3.4	29.7	0.0	0.0
San Juan 027	28.2	18.5	2.9	2.9	35.4	0.0	12.2
San Juan 028	32.5	17.0	23.7	11.3	11.1	4.4	0.0
San Juan 029	34.5	20.1	2.8	3.7	29.1	1.8	7.9

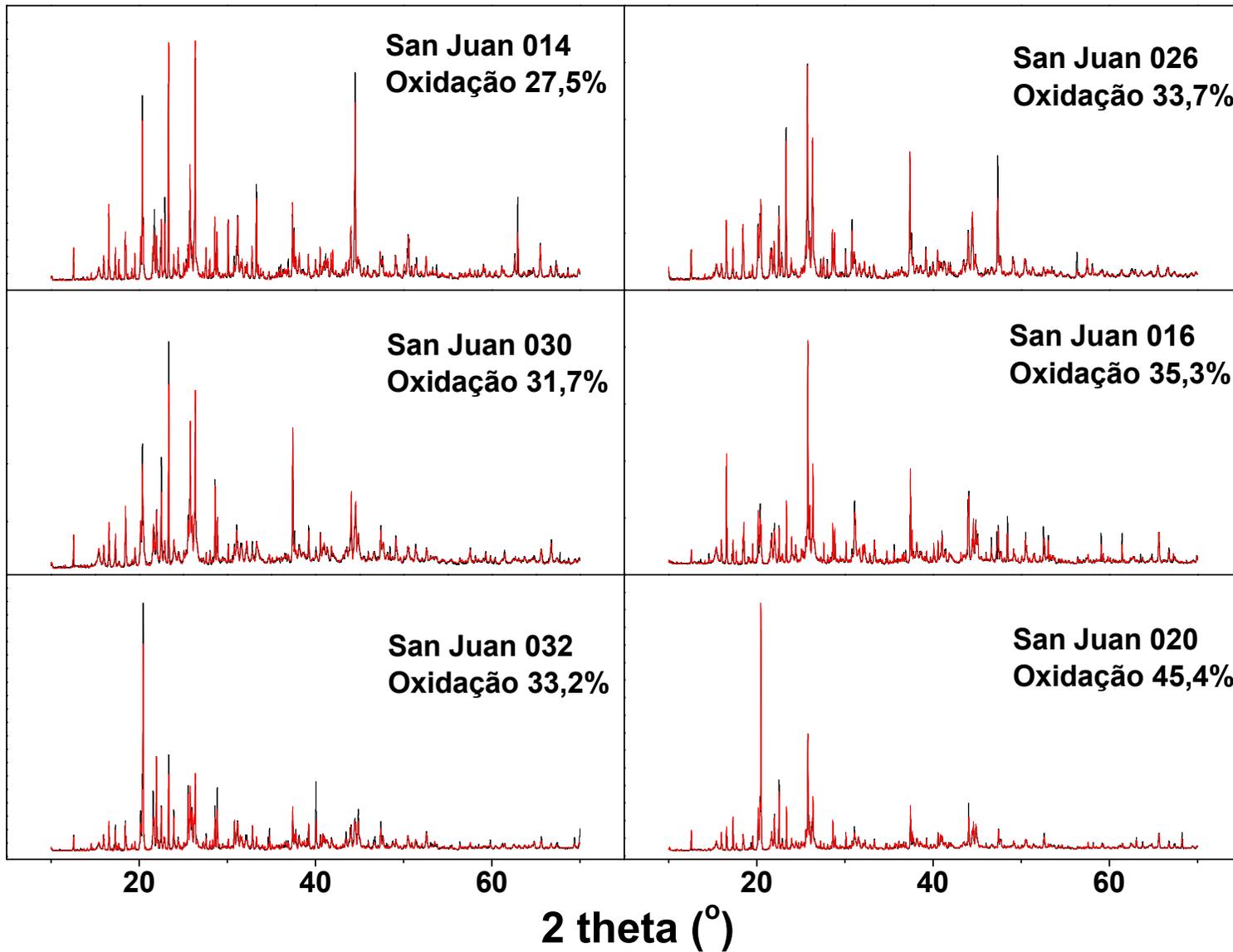
Continuação tabela 4.12.

Meteorito	Olivina (% at. Fe)	Ortopiroxênio (% at. Fe)	Opacos (% at. Fe)		Óxidos de ferro (% at. Fe)		
			Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
San Juan 030	39.1	17.6	15.9	2.8	18.2	0.0	6.5
San Juan 031	50.8	19.7	9.6	20.5	0.0	0.0	0.0
San Juan 032	46.1	22.9	0.0	7.7	18.2	0.0	5.1
San Juan 033	32.9	22.3	17.9	14.9	12.0	0.0	0.0
San Juan 034	44.4	26.5	2.9	14.5	11.8	0.0	0.0
San Juan 036	43.7	16.9	3.4	5.1	31.0	0.0	0.0
San Juan 038	35.6	20.0	14.5	22.3	7.6	0.0	0.0
San Juan 039	30.0	26.7	5.2	2.4	27.4	0.6	7.7
San Juan 041	36.6	20.5	9.5	7.6	16.2	1.1	7.4
San Juan 044	28.6	20.7	12.0	16.0	22.7	0.0	0.0
San Juan 045	20.0	15.0	7.3	3.5	43.5	0.8	9.9
San Juan 046	29.6	21.1	9.5	8.4	31.4	0.0	0.0
San Juan 048	27.9	16.9	11.1	6.3	32.5	0.0	5.2
San Juan 049	26.5	24.2	7.6	12.6	28.5	0.5	0.0
San Juan 051	29.3	22.5	11.6	17.1	18.1	1.3	0.0
San Juan 052	42.4	27.9	8.0	18.5	3.3	0.0	0.0
San Juan 053	27.3	21.5	13.5	5.3	26.0	0.0	6.4
San Juan 054	46.4	22.3	6.6	7.2	17.6	0.0	0.0
San Juan 055	18.6	12.0	3.3	8.4	37.4	0.0	20.3
San Juan 056	39.3	23.1	5.7	15.6	14.5	0.0	1.8
San Juan 057	35.9	24.9	4.8	11.2	16.4	0.0	6.9
San Juan 058	57.2	22.2	4.0	2.5	14.1	0.0	0.0
San Juan 059	46.3	23.1	7.1	18.4	5.1	0.0	0.0
San Juan 060	29.1	18.5	7.9	9.2	26.7	0.0	8.6

Figure 4.9 – Difractogramas de Raios-X medidos utilizando a radiação síncrotron para algumas amostras das áreas de: SJ, PM e OL.



Continuação figura 4.9.



Continuação figura 4.9.

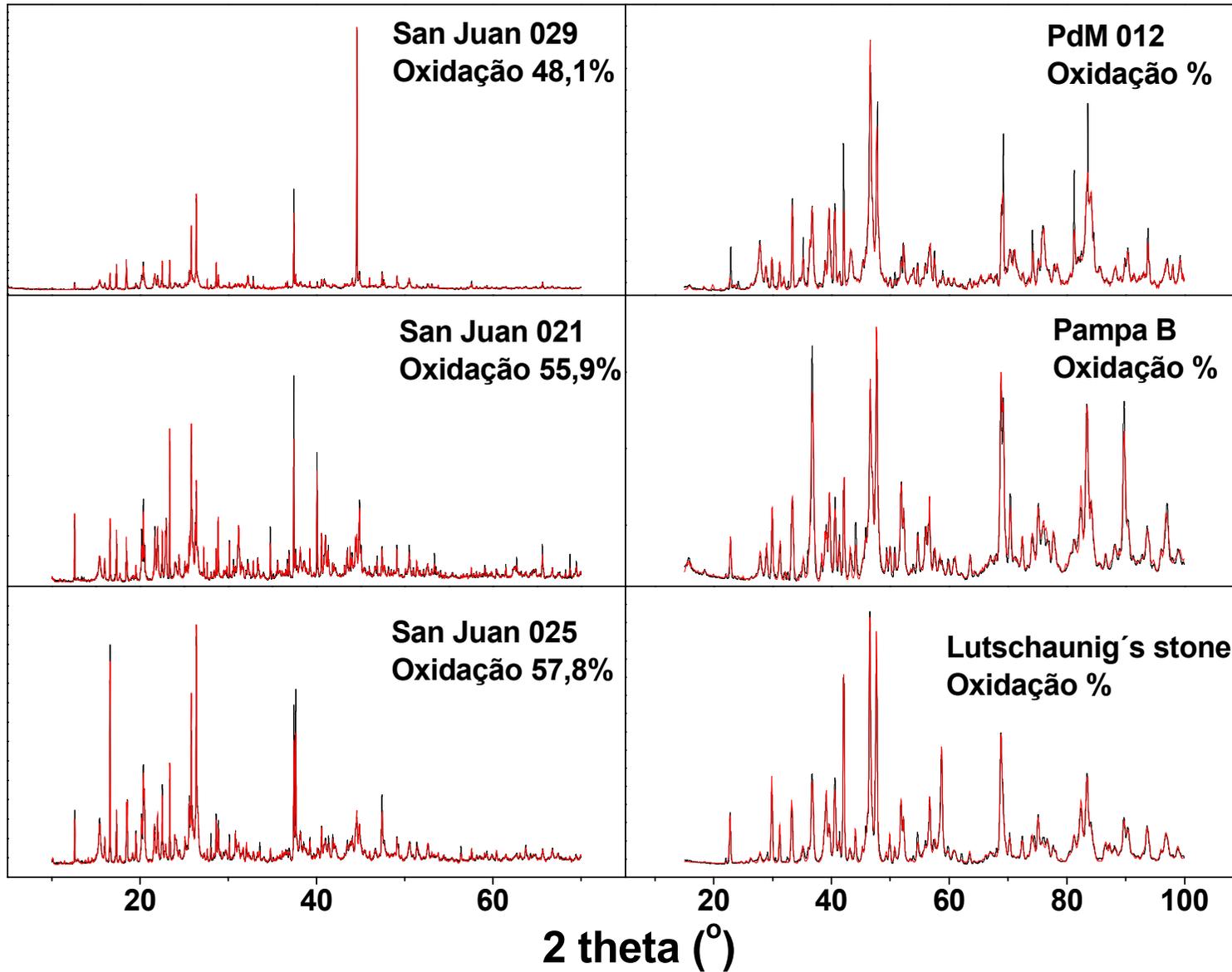


Tabela 4.13 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % wt, a partir dos difratogramas obtidos por DRX-RS para algumas amostras das áreas de: SJ, PM e OL.

Meteorito	Olivina (wt.%)	Piroxênios (wt.%)			Plagioclase (wt.%)		Opacos (wt.%)		Óxidos de ferro (wt.%)		
	Olivina	Ortopiroxênio	Diópsido	Nchwaningita	Anortita	Albita	Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
San Juan 013	40.1	35.7	7.4	0.7	3.7	6.3	1.2	3.4	1.6	0.0	0.0
San Juan 014	42.0	35.0	9.0	1.9	0.0	5.8	0.0	0.6	4.1	0.0	1.6
San Juan 015	40.2	32.1	9.2	1.0	0.0	5.4	0.0	4.6	5.8	0.0	1.6
San Juan 017	33.5	36.1	9.0	2.1	0.0	5.9	0.8	3.8	6.2	0.0	2.6
San Juan 019	48.7	36.6	5.2	0.7	2.4	0.0	0.0	2.8	3.6	0.0	0.0
San Juan 020	30.9	41.3	8.5	1.0	0.0	5.1	0.4	1.5	6.0	0.8	4.5
San Juan 021	29.0	28.0	11.7	0.0	0.0	7.1	0.5	3.8	13.8	0.0	6.1
San Juan 022	49.3	34.8	7.9	0.0	2.3	0.0	0.0	1.6	2.8	0.0	1.3
San Juan 025	34.5	32.9	6.8	0.0	1.9	6.7	0.0	0.9	11.5	1.3	3.5
San Juan 026	47.8	31.8	6.8	0.0	0.0	5.8	0.4	1.0	6.5	0.0	0.0
San Juan 028	32.8	41.6	7.0	1.1	1.4	7.0	3.7	2.6	2.8	0.0	0.0
San Juan 029	49.2	22.5	3.9	0.7	0.0	6.9	1.5	0.7	11.3	1.1	2.3
San Juan 030	31.1	36.2	5.5	0.1	0.0	7.5	6.9	1.9	8.4	0.0	2.3
San Juan 031	51.6	21.9	13.5	1.3	3.1	1.2	1.4	4.5	1.4	0.0	0.0
San Juan 032	37.6	34.9	8.2	1.7	0.0	6.1	0.7	3.2	5.2	0.0	2.5

Meteorito	Olivina (wt.%)	Piroxênios (wt.%)			Plagioclase (wt.%)		Opacos (wt.%)		Óxidos de ferro (wt.%)		
	Olivina	Ortopiroxênio	Diópsido	Nchwaningita	Anortita	Albita	Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
Lustchauning	46.9	35.5	8.0	0.0	0.9	0.0	1.7	4.5	2.5	0.0	0.0
Pampa B	41.4	43.4	2.9	0.0	4.2	0.0	0.0	1.5	5.0	0.7	0.9
Chile M8	47.9	27.0	3.0	0.5	0.0	5.6	0.0	1.6	12.5	0.5	1.4
Pampa G	37.6	33.5	5.4	0.0	0.0	6.0	0.6	0.4	13.3	0.0	3.3
La Yesera 05	31.4	32.3	5.6	0.0	0.0	5.4	0.0	0.6	12.2	1.6	10.9

Tabela 4.14 – Quantificação das fases pelo método de Rietveld, expressa em % at. Fe, a partir dos difratogramas obtidas por DRX-RS para algumas amostras das áreas de: SJ, PM e OL.

Meteorito	Olivina (% at. Fe)	Ortopiroxênio (% at. Fe)	Opacos (% at. Fe)		Óxidos de ferro (% at. Fe)		
			Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
San Juan 13	49.4	19.2	7.4	16.4	7.7	0.0	0.0
San Juan 14	46.6	24.5	0.0	2.7	18.1	0.0	8.1
San Juan 15	37.4	18.3	0.0	16.9	21.1	0.0	6.4
San Juan 17	26.8	19.1	3.7	15.1	24.0	0.0	11.3
San Juan 19	46.1	22.8	0.0	13.7	17.5	0.0	0.0
San Juan 20	24.8	21.6	2.1	6.1	23.9	1.4	20.1
San Juan 21	19.5	12.7	1.5	10.4	37.5	0.0	18.4
San Juan 22	48.8	22.9	0.0	7.7	13.5	0.0	7.2
San Juan 25	24.4	14.4	0.0	3.4	41.7	2.3	13.9
San Juan 26	39.1	19.1	2.7	5.4	33.7	0.0	0.0
San Juan 28	31.2	20.0	22.8	12.6	13.4	0.0	0.0
San Juan 29	33.6	9.6	6.4	2.3	37.7	1.8	8.6
San Juan 30	22.5	15.0	25.1	5.6	24.3	0.0	7.4
San Juan 31	49.6	13.9	8.4	21.5	6.6	0.0	0.0
San Juan 32	24.6	25.0	3.5	13.7	21.8	0.0	11.5

Meteorito	Olivina (% at. Fe)	Ortopiroxênio (% at. Fe)	Opacos (% at. Fe)		Óxidos de ferro (% at. Fe)		
			Fe-Ni	Troilita	Goethita	Akaganeita	Maghemita
Lustchauning	47.3	16.9	8.3	17.8	9.7	0.0	0.0
Pampa B	45.0	22.2	0.0	6.3	20.9	1.5	4.2
Chile M8	38.1	11.1	0.0	5.2	39.8	0.7	5.1
Pampa G	29.2	17.3	2.1	1.3	39.3	0.0	20.0
La Yesera 05	17.1	11.6	0.0	1.6	33.9	2.1	33.8

4.3 – SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

A susceptibilidade magnética mede como uma amostra responde a um campo magnético externo, sendo um excelente método para identificar e classificar meteoritos devido ao fato de diferentes variedades de meteoritos terem quantidades diferentes de metal, e, portanto diferentes valores de susceptibilidade magnética. As medidas de susceptibilidade magnética são realizadas a temperatura ambiente com um medidor de susceptibilidade magnética portátil SM-30, que opera a uma frequência de 9 kHz com tempos de medição de 5s. A frequência do oscilador depende da distância do medidor à amostra e a mudança na frequência é proporcional à susceptibilidade da amostra. A calibração é feita com um material padrão de susceptibilidade conhecida.

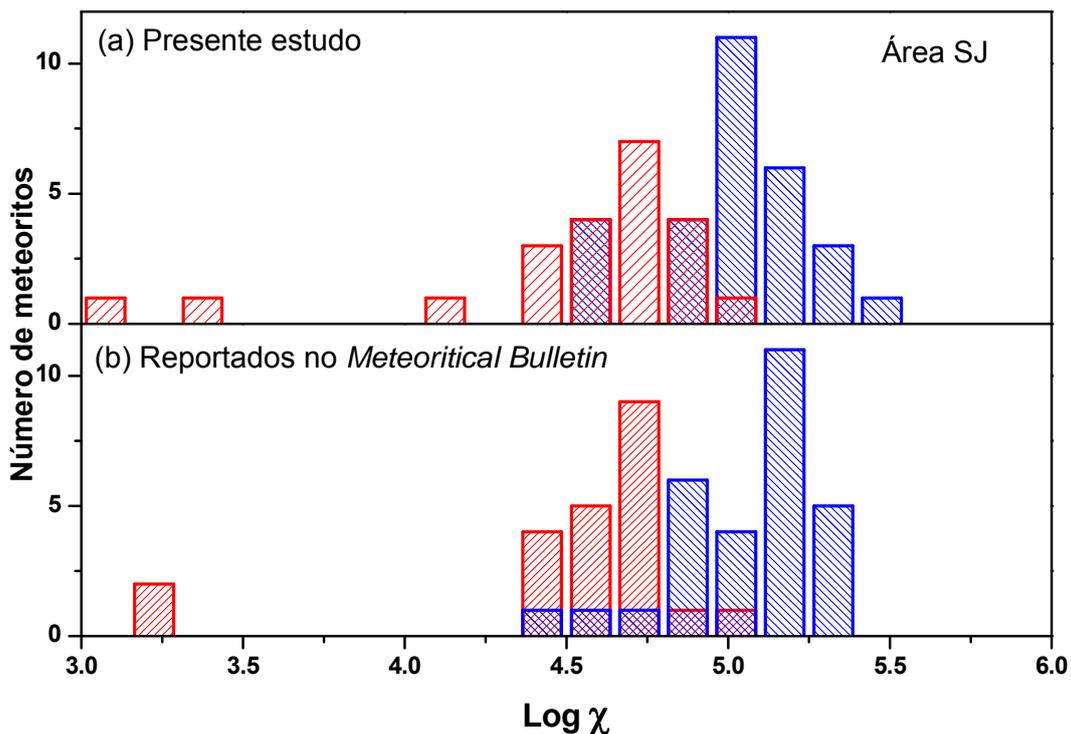


Figura 4.10 – Histograma de frequências de $\log \chi$ para meteoritos da área de SJ.

As medidas são realizadas nas mesmas amostras utilizadas nas medidas de espectroscopia Mössbauer e comparadas com medidas reportadas no *Meteoritical Bulletin* 87, 95, 97, 99 e 100 (Russell et al. (2003), Weisberg et al. (2009), Weisberg et al. (2010), Weisberg (2011a), (Weisberg, 2011b)).

Tabela 4.15 – Valores de $\log \chi$ de meteoritos coletados na área de SJ e comparada com os valores da tabela 3.1. (χ é dada em 10^{-9} m³/kg).

Meteorito	Estado de Choque	Tipo	Oxidação Total(%)	Log χ	Log χ^*
San Juan 031	S3	L	7.5	5.02	4.98
San Juan 052	S2	L	11.1	4.81	4.73
San Juan 059	*	L	13.3	4.69	4.72
San Juan 013	S3	L	12.9	4.91	4.73
San Juan 019	S3	L	19.6	4.93	4.63
San Juan 004	S3	L	13.0	4.88	4.78
San Juan 034	S4	L	15.8	4.59	4.72
San Juan 056	*	L	13.4	4.55	4.7
San Juan 054	*	L	17.2	4.41	4.61
San Juan 038	S3	H	16.1	5.11	5.34
San Juan 028	S3	H	20.2	5.45	5.29
San Juna 033	S4	H	20.2	5.27	5.23
San Juan 018	S3	L	20.4	4.76	4.82
San Juan 008	S3	LL	20.2	3.10	3.18
San Juan 058	*	LL	21.2	3.38	3.25
San Juan 051	S1	H	22.2	5.17	5.2
San Juan 022	S4	L	25.1	4.73	4.43
San Juan 023	S3	H	27.1	4.98	5.23
San Juan 024	S3	L	24.6	4.53	4.66
San Juan 041	S4	H/L	25.8	4.19	4.59
San Juan 044	S3	H	27.4	5.1	5.23
San Juan 015	S3	L	26.9	4.53	4.53
San Juan 037	S1	L	30.5	4.72	4.72
San Juan 049	S1	H	32.5	5.03	5.21
San Juan 057	*	L	29.1	4.67	4.71
San Juan 053	*	H	33.7	5.36	5.26
San Juan 026	S1	L	36.6	4.70	4.44
San Juan 014	S3	L	34.9	4.73	4.38
San Juan 032	S3	H	37.9	5.19	5.27
San Juan 046	S3	H	35.6	5.1	4.85
San Juan 060	*	H	38.6	5.05	5.27
San Juan 036	S4	L	35.8	4.46	4.41
San Juan 016	S2	H	40.9	4.95	5.16
San Juan 039	S2	L	41.3	4.41	4.59
San Juan 030	S3	H	39.6	5.26	5.24
San Juan 048	S2	H	43.0	5.03	5.17
San Juan 006	S2	H	40.8	4.82	4.90
San Juan 007	S2	H	44.4	4.97	5.14
San Juan 017	S2	H	47.5	4.93	4.91
San Juan 029	S1	H	46.9	5.09	4.93
San Juan 012	S2	H	44.9	4.94	5.06
San Juan 055	*	H	50.2	4.8	4.94
San Juan 011	S2	H	52.3	5.05	5.04
San Juan 027	S2	H	53.4	5.19	4.98
San Juan 020	S3	H	50.0	5.04	4.98
San Juan 010	S2	H	56.4	4.52	4.64
San Juan 003	S3	H	57.6	5.00	5.18
San Juan 021	S1	H	53.6	5.06	4.94
San Juan 005	S3	H	55.8	4.54	4.43
San Juan 045	S1	H	57.3	4.64	4.73
San Juan 025	S3	H	60.5	4.58	5.19

* extraída do Meteoritical Bulletin 87, 95, 97, 99 e 100

A tabela 4.15 mostra os valores de $\log \chi$ para meteoritos coletados na área de SJ comparados aos valores da tabela 3.1. O histograma de frequências, figura 4.10(a), mostra dois máximos, um em 4.73 e outro em 5.03, para os condritos do tipo L e H, respectivamente. Estes valores de $\log \chi$ são inferiores aos encontrados em meteoritos “caídos”, que possuem valores médios de 4.87 e 5.32 para condritos do tipo L e H, respectivamente. A diferença observada com os dados de $\log \chi$ obtidos da tabela 3.1 (figura 4.10b) pode ser explicada pelo fato das susceptibilidades terem sido medidas em amostras diferentes do mesmo meteorito, indicando assim uma heterogeneidade do intemperismo.

4.4 – MICROSCOPIA ÓPTICA.

Foram preparadas lâminas delgadas e polidas dos meteoritos San Juan 023, 004, 006, 007, 008. Para os restantes meteoritos não foi possível preparar as lâminas devido à quantidade insuficiente de material disponível para os cortes. As lâminas foram analisadas através de microscopia óptica com luz transmitida, polariza e refletida (ver apêndice D).

Na figura 4.11 mostra-se a fotomicrografia do meteorito San Juan 006: as figuras (a) e (b) são tomadas com luz transmitida e polarizada, observa-se uma textura condrítica com a presença de côndrulos de forma esférica bem definida, a figura (c) é tomada com luz refletida, destacando-se a presença dos opacos (Fe-Ni e troilita), partes claras na figura. Nas figuras (d) e (e) tomadas com luz transmitida e polarizada destaca-se um côndrulo. Em (f) mostra-se os opacos e óxidos de Fe. As figuras (g), (h) e (i) mostram em detalhe um côndrulo de olivina barrada. (j), (k) e (L) detalha a presença dos opacos e óxidos de Fe que são produtos do intemperismo.

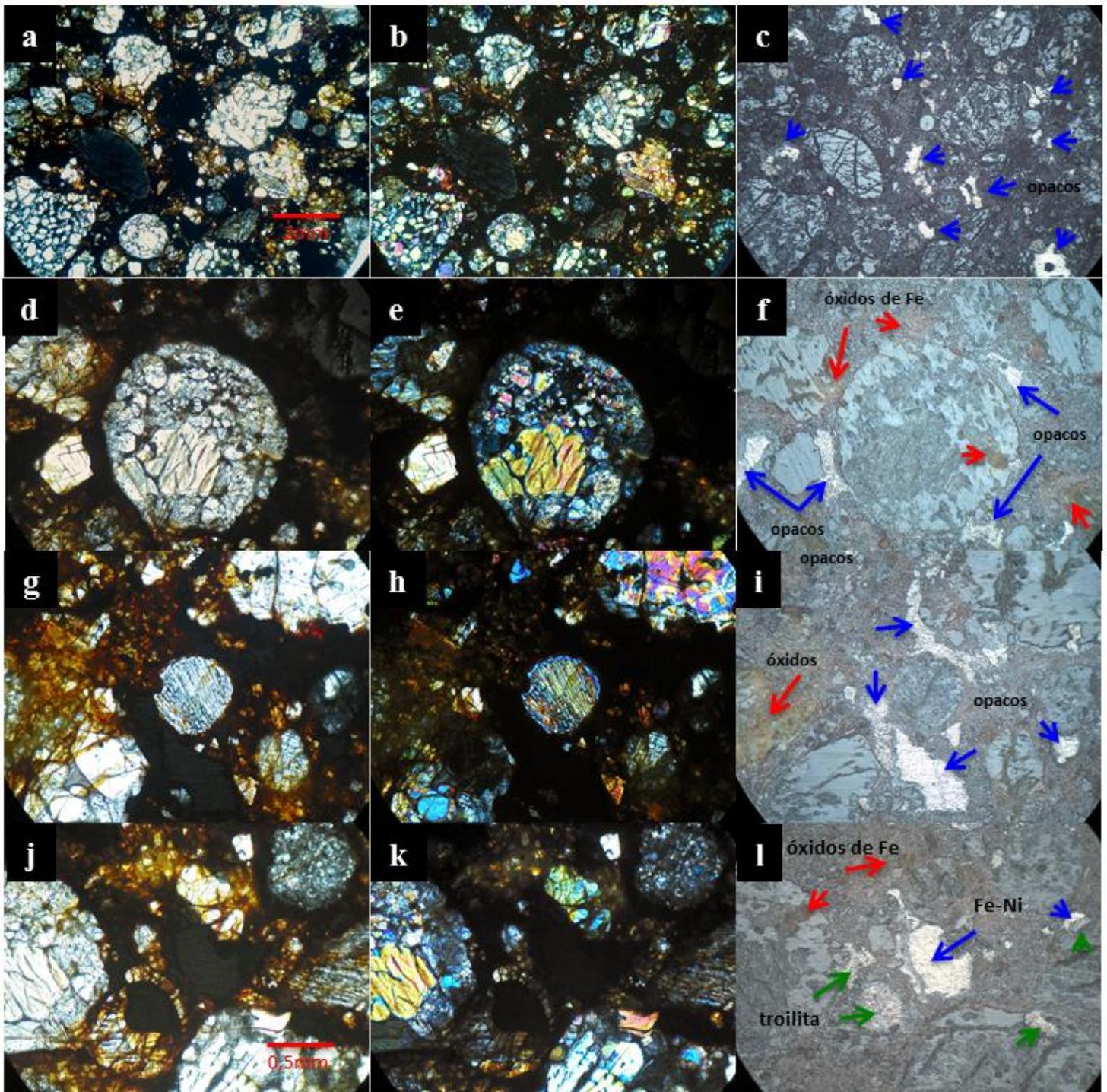


Figura 4.11 – Microfotografia para San Juan 006: (a), (b) e (c) mostrando a silicatos, matriz e opacos tomados com luz transmitida, polarizada e refletida. (d), (e) (f), (g), (h) e (i) detalham os cõndrulos. (j), (k) e (l) detalha os opacos tomados com luz transmitida, polariza e refletida.

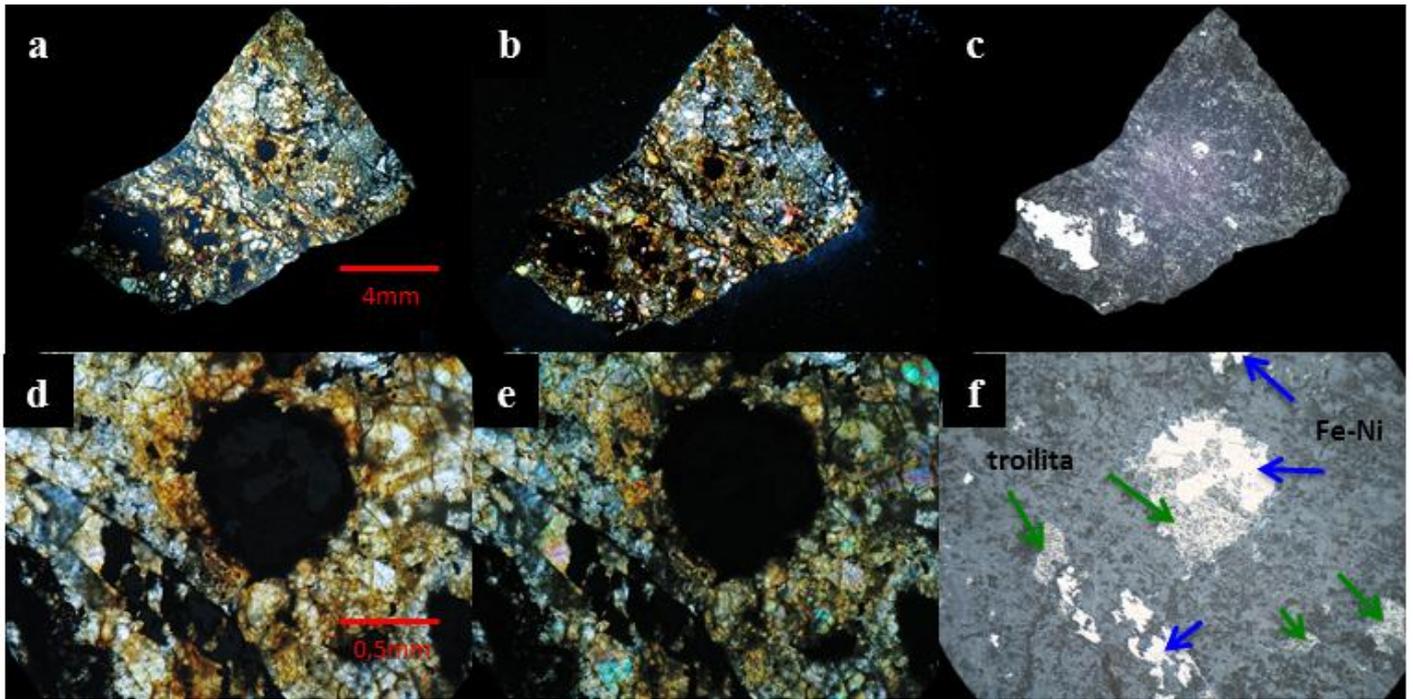


Figura 4.12 - Microfotografia para San Juan 004: (a), (b) e (c) mostrando os silicatos, matriz e opacos tomados com luz transmitida, polarizada e refletida. (d), (e) e (f) detalha os opacos tomados com luz transmitida, polariza e refletida.

Na figura 4.12 é mostrada a fotomicrografia do meteorito San Juan 004: as figuras (a) e (b) são tomadas em luz transmitida e polarizada e mostram uma textura condrítica, as partes escuras na figura correspondem aos opacos. A figura (c) mostra claramente a presença dos opacos, partes claras na imagem, tomadas com luz refletida. (d) e (e) foram tomadas com luz transmitida e polarizada, a parte escura na figura corresponde aos opacos. A mesma imagem tomada com luz refletida é mostrada em (f) e observam-se claramente os opacos, Fe-Ni e troilita.

O principal critério para estimar o grau de intemperismo (seção 2.3.1(c), capítulo 2) por microscopia ótica para meteoritos do tipo condritos ordinários é o estado de oxidação das fases opacas (Fe-Ni e troilita). O grau de intemperismo estimado por microscopia ótica resumidos na tabela 3.1 e figura 3.4, mostram (seção 3.1.5, capítulo 3) que as amostras de SJ apresentam um menor grau de intemperismo que as outras áreas. Uma comparação muito interessante é o grau de intemperismo estimado por microscopia ótica e espectroscopia Mössbauer. Devemos mencionar a diferença entre a forma de estimar grau de intemperismo: a microscopia ótica o faz a partir de uma estimativa visual em vários pontos de uma área de aproximadamente 2 cm²,

entretanto, a espectroscopia Mössbauer faz a estimativa aproximadamente na mesma área mas com uma espessura 100 vezes maior. Isto indicaria que o resultado obtido pelo Mössbauer seria mais representativo que a microscopia óptica. Na figura 4.13 mostra-se o grau de intemperismo estimado por microscopia óptica em função da oxidação estimada pela espectroscopia Mössbauer, para meteoritos coletados na área de SJ, separados por grupo químico H e L/LL. Observa-se que as amostras do tipo L/LL apresentam um menor grau de oxidação que as do tipo H. Porém não existe uma relação entre a percentagem de oxidação e a classificação do intemperismo dada pelos W1, até W6. Por exemplo, amostras do tipo L classificadas com grau de intemperismo W1 tem uma percentagem de oxidação entre 7 – 30 %, as classificadas com W3 entre 12 – 40 %, as classificadas como W3 entre 20 – 40%. Assim uma amostra com 20 % de oxidação estimada pelo Mössbauer poderia ser classificada como W1, W2 ou W3.

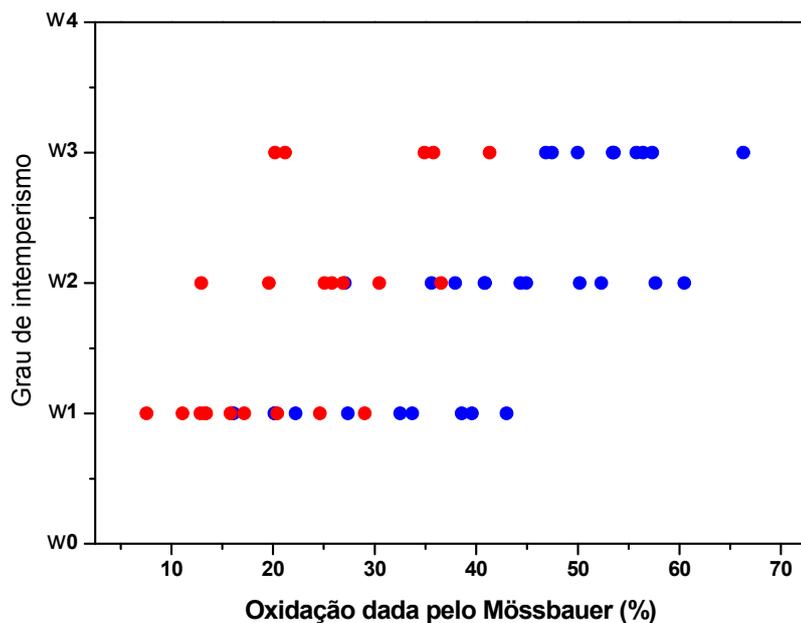


Figura 4.13 - Grau de intemperismo estimado por microscopia óptica em função da oxidação estimada pela espectroscopia Mössbauer para meteoritos da área de San Juan.

Capítulo 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 – INTEMPERISMO DAS FASES PRIMÁRIAS.

Observando como as áreas espectrais das fases primárias varia com a quantidade total de óxido, podemos determinar qual fase é mais susceptível ao intemperismo: um incremento na absorção da componente férrica deve ser acompanhado por uma diminuição na absorção associada a um mineral primário. A comparação entre a área espectral dos silicatos ferromagnesianos (olivina e piroxênio) e os opacos (Fe-Ni e troilita) com a quantidade total de óxido para as áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM é mostrada nas figuras 5.1 e 5.2. Destas figuras, observa-se que os condritos tipo L/LL apresentam maior quantidade de silicatos ferromagnesianos e uma menor quantidade de opacos em relação aos tipos H, fato esperado devido ao baixo conteúdo metálico dos condritos tipo L/LL. Para todas as áreas estudadas, observa-se uma diminuição das fases primárias (figuras 5.1 e 5.2) com o incremento da oxidação, o que sugere que todos os minerais que contem Fe são afetados pelo intemperismo em algum grau, como previamente reportado para condritos ordinários de outros desertos quentes (Bland et al., 1998). É interessante notar que em todos os casos os condritos tipo L/LL, apresentam uma oxidação menor em relação aos condritos tipo H, isto poderia ser explicado pela maior disponibilidade de ferro nos condritos tipo H fazendo com que a taxa de intemperismo nestes condritos seja maior que nos condritos tipo L/LL, onde a disponibilidade de ferro é menor. A área de SJ apresenta amostras com menor grau de intemperismo quando comparadas com as outras áreas.

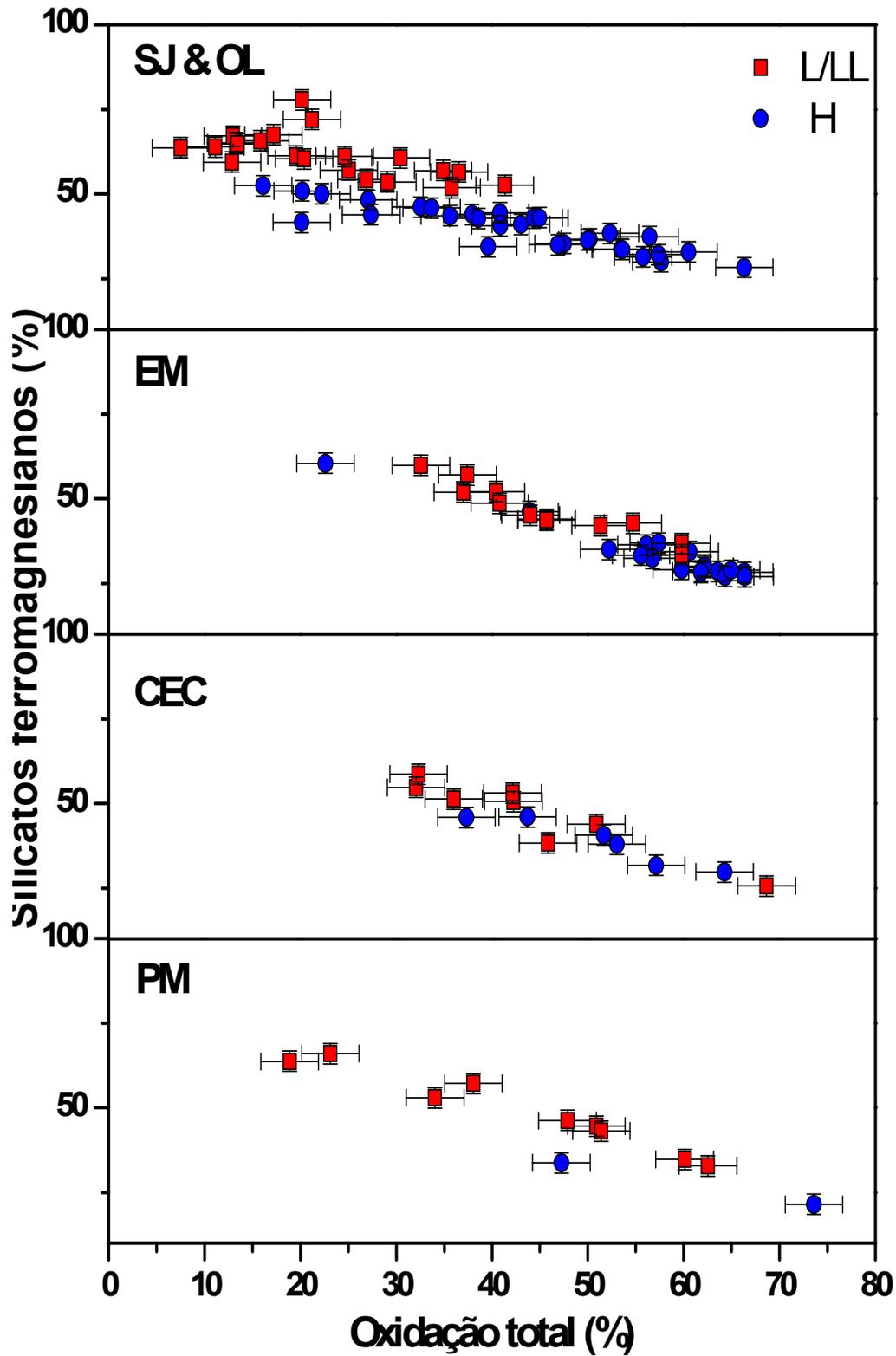


Figura 5.1 – Área espectral dos silicatos ferromagnesianos em função da oxidação total para meteoritos intemperizados coletados das áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.

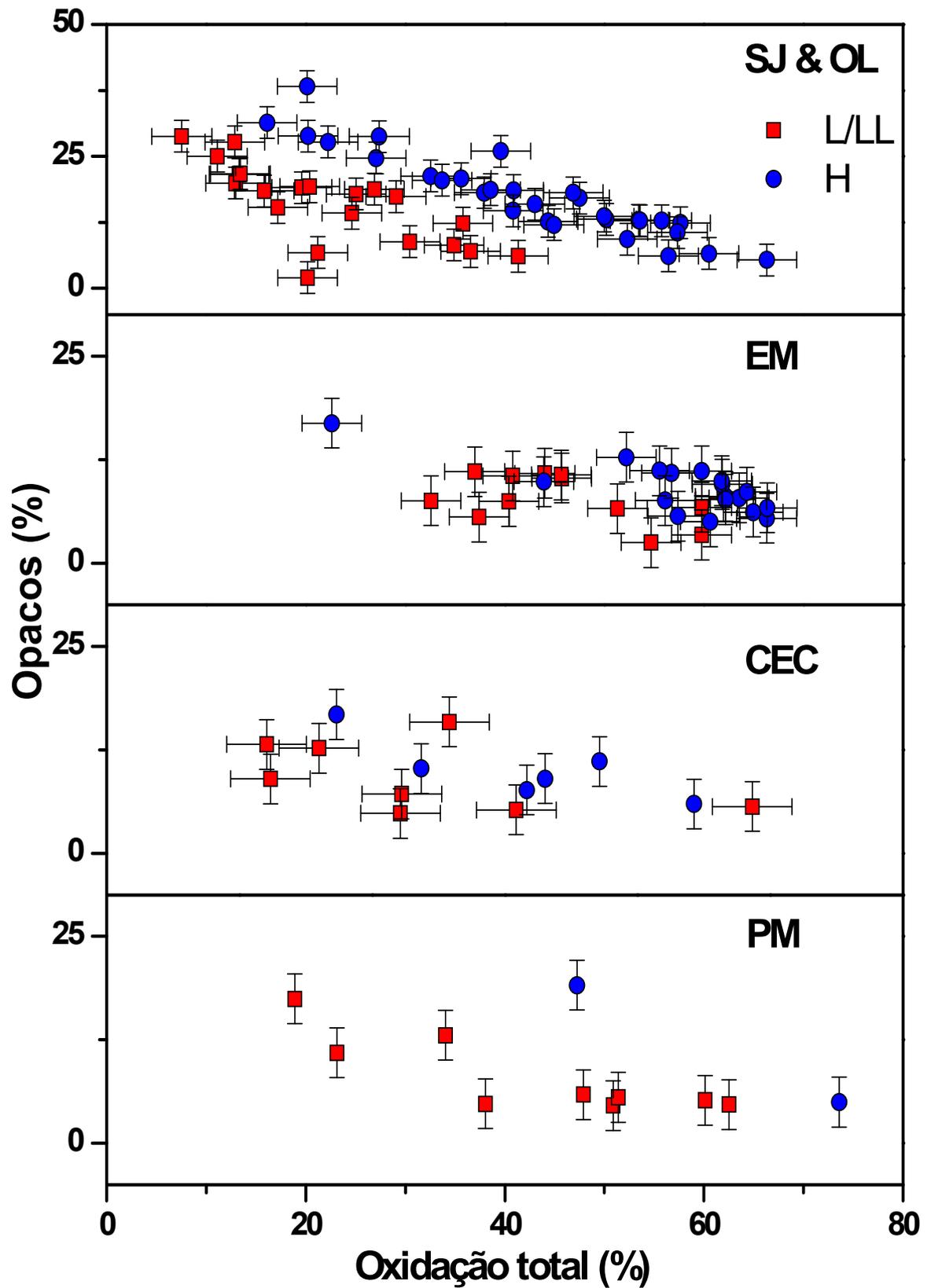


Figura 5.2 – Área espectral dos opacos em função da oxidação total para meteoritos intemperizados coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM.

Podemos também explorar alguma diferença nas taxas de intemperismo da olivina (Ol) e do piroxênio (Px) para tal analisaremos a razão $Ol/(Ol + Px)$ em função da oxidação total para as áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM (figura 5.3). Da figura 5.3 observamos uma leve tendência da razão $Ol/(Ol + Px)$ a diminuir com a oxidação o que nos indicaria uma taxa de intemperismo levemente maior na olivina em relação ao piroxênio. Para entender esta diferença podemos observar que o conteúdo de Fe na olivina é ligeiramente maior que a do piroxênio (ver tabela 3.1, capítulo 3), especialmente nos tipos L/LL. Assim, a maior quantidade de Fe na olivina poderia ser o responsável por sua taxa de intemperismo ser levemente maior que a do piroxênio.

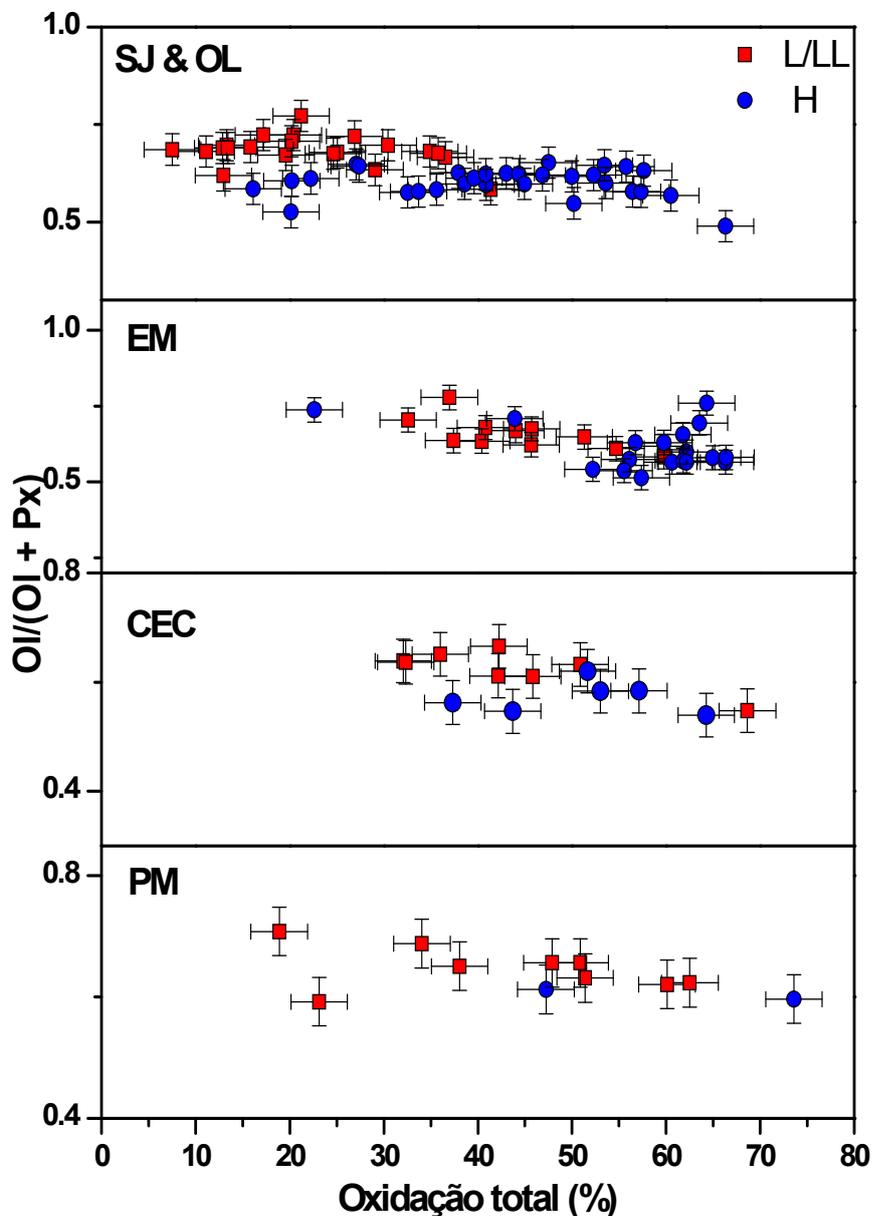


Figura 5.3 – Área espectral da $Ol/(Ol + Px)$ como uma função da oxidação para meteoritos coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM (Ol=olivina, Px=piroxênio).

5.2 – PRODUTOS DE OXIDAÇÃO

A combinação de medidas de espectroscopia Mössbauer a 300 K e 4,2 K permite identificar os produtos de alteração em todos os meteoritos estudados. Em meteoritos com um baixo grau de intemperismo o único produto de oxidação observada a 300 K é o DS-Fe³⁺ (figura 4.2). Já a 4,2 K são observadas duas componentes magnéticas com parâmetros hiperfinos típicos de akaganeita e goethita cuja soma das áreas relativas corresponde, dentro do erro experimental, à área do DS-Fe³⁺. Assim, a 300 K o DS-Fe³⁺ é associado a pequenas partículas de akaganeita (Barrero et al., 2006) e goethita que se desdobram magneticamente a 4,2 K. Nas tabelas 4.6 a 4.10 observamos que a 4,2 K a área relativa da goethita é sempre maior que a 300 K, esse incremento da goethita a 4,2 K é devido à contribuição de uma fração do DS-Fe³⁺. Tal afirmação tem como base a seguinte evidência experimental: a soma da área relativa da akaganeita (A_{akg}) e a diferença da área relativa da goethita observada a 300 K e 4,2 K ($A_{G(4,2K)} - A_{G(300K)}$) deve corresponder dentro do erro experimental à área relativa do DS-Fe³⁺.

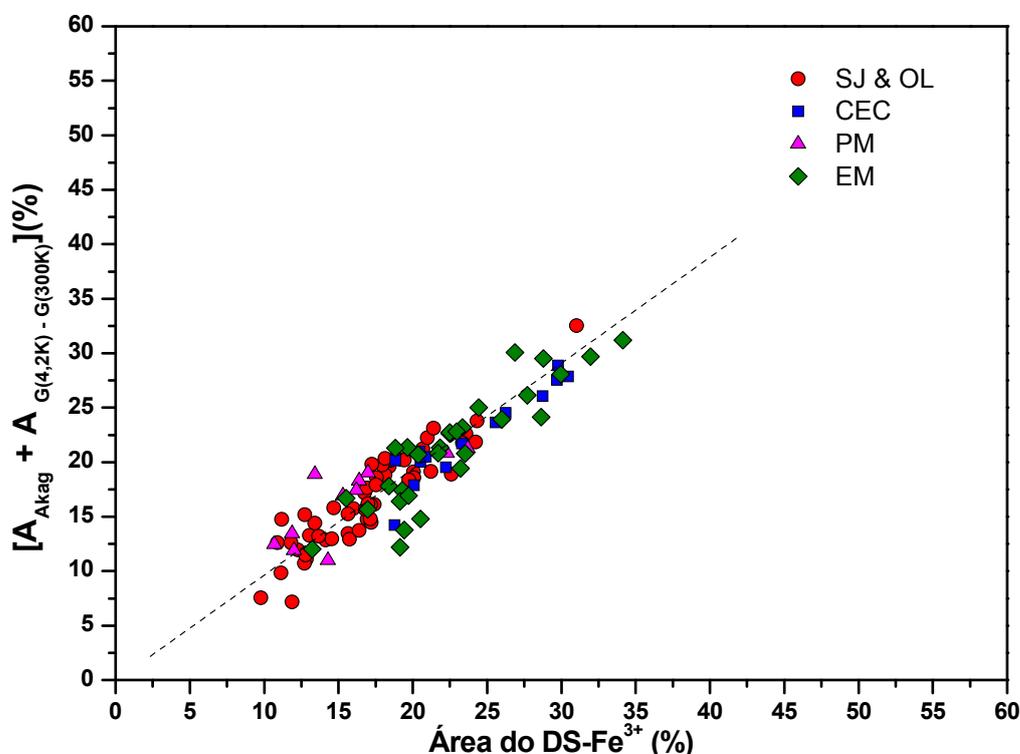


Figura 5.4 – Soma das áreas $[A_{akg} + A_{G(4,2K)} - A_{G(300K)}]$ em função da área do DS-Fe³⁺ para meteoritos coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM. (A linha tracejada é somente uma guia).

A figura 5.4 mostra a soma das áreas [$A_{akg} + A_{G(4,2K)} - A_{G(300K)}$] em função da área do DS-Fe³⁺ mostrando uma relação linear indicada pela linha tracejada, confirmando que a área do DS-Fe³⁺ se desdobra preferencialmente como goethita e akaganeita.

A figura 5.5 mostra a área espectral do DS-Fe³⁺ em função da oxidação total para as áreas de SJ & OL, EM & CEC e PM, a linha tracejada indica a tendência para as amostras que possuem como único produto de oxidação o DS-Fe³⁺, isto é meteoritos que tem um baixo grau de intemperismo (tabelas 4.6 – 4.10). A área do DS-Fe³⁺ se incrementa linearmente com a oxidação. Quando a oxidação total atinge ~ 20 % a área do DS-Fe³⁺ se afasta da relação linear indicando que os produtos iniciais do intemperismo começam a se transformar em outros produtos, na tabela 3.8 é possível observar que para amostras com oxidação maior que 20 % a goethita e a maghemita estão presentes a 300 K.

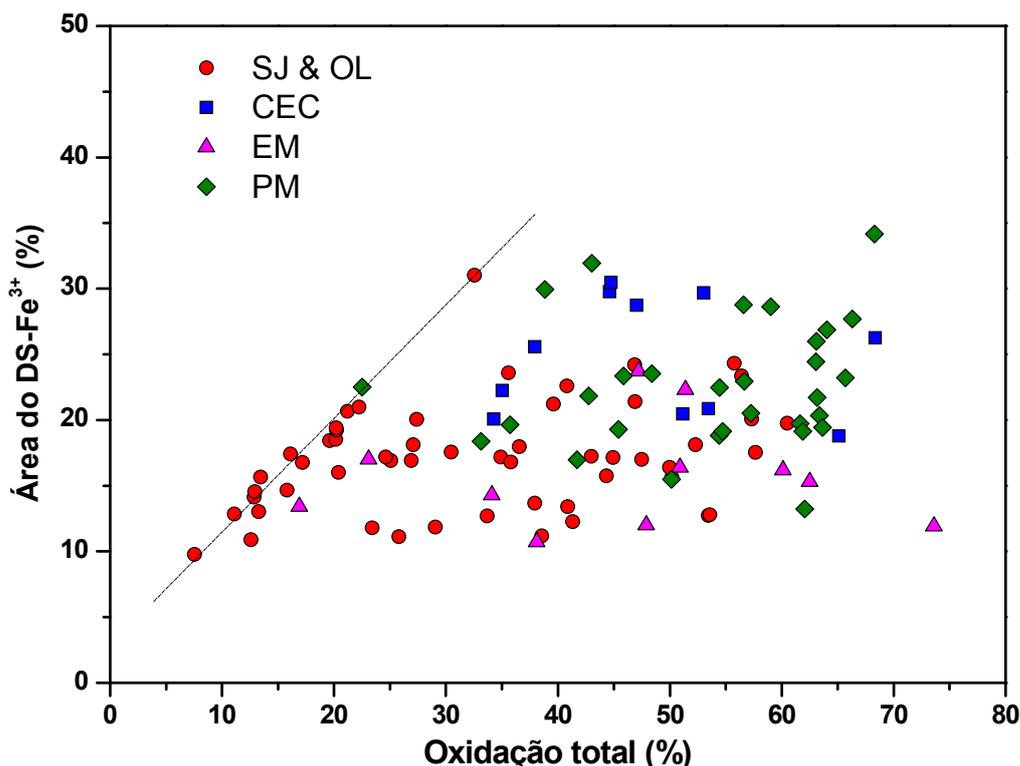


Figura 5.5 – Área espectral do DS-Fe³⁺ como uma função da oxidação total para meteoritos coletados nas áreas de SJ & OL, EM, CEC e PM. (A linha tracejada é somente uma guia).

Os espectros a 300 K exibem uma componente magnética com linhas alargadas com um campo hiperfino médio abaixo dos valores típicos dos

óxidos de Fe. A baixa temperatura, a partir da análise dos parâmetros hiperfinos e áreas relativas, esta componente é identificada como sendo goethita (tabelas 4.1 – 4.5).

Os espectros Mössbauer a 4,2 K são muito complexos devido aos efeitos de relaxação dos silicatos ferromagnesianos, e também pela superposição das fases férricas. Esses problemas dificultam a correta identificação de maghemita e/ou hematita dado que ambas fases possuem campos hiperfinos muito próximos. Para a correta identificação foi necessário realizar uma separação magnética. A separação magnética é feita moendo uma parte do meteorito San Juan 021 com acetona, em um morteiro de ágata. Com ajuda de um ímã de mão é retirada a parte magnética e o processo é repetido varias vezes até que o ímã não atraia mais nenhuma partícula.

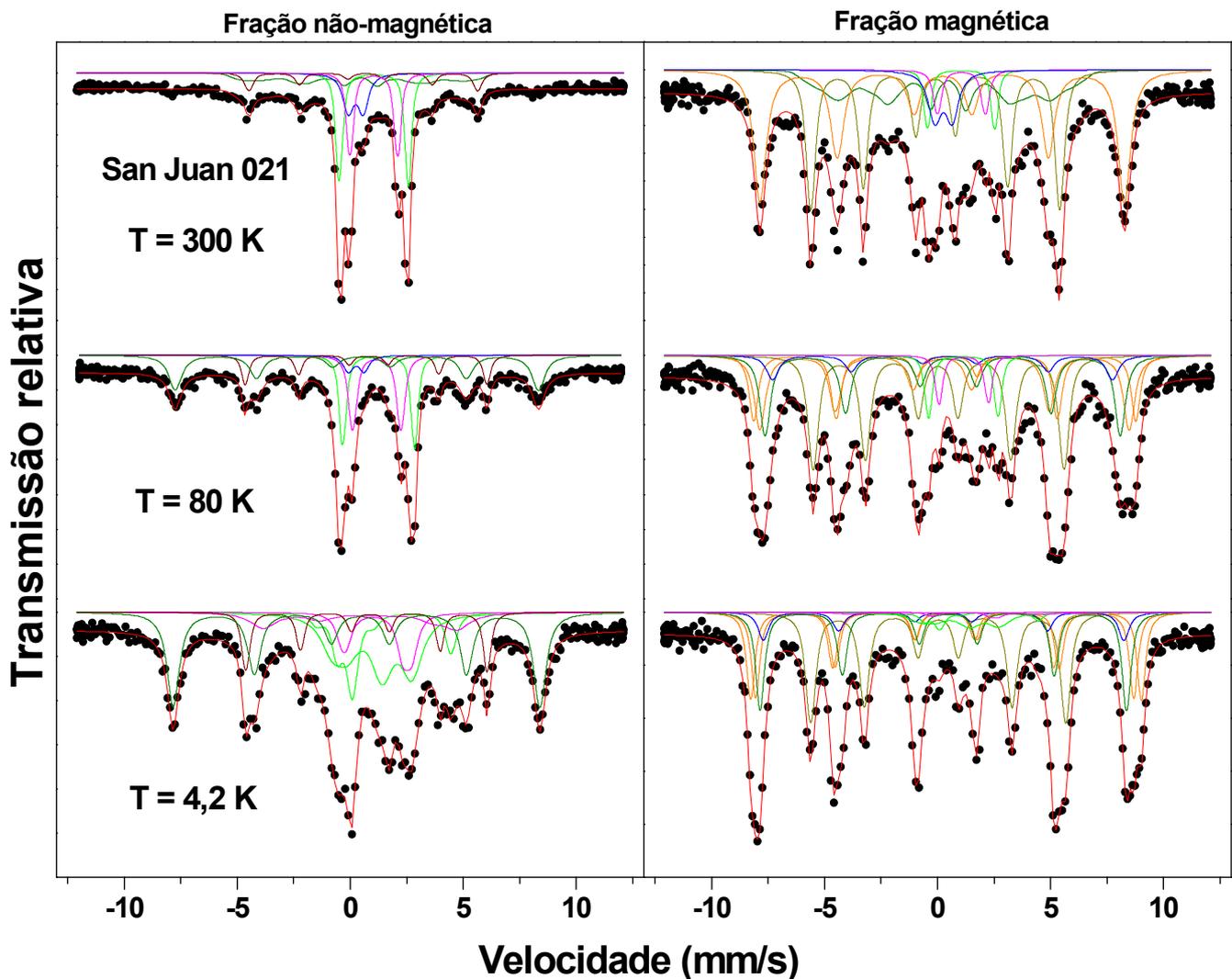


Figura 5.6 – Espectros Mössbauer a 300 K e 4,2 K da fração magnética e não-magnética extraídas do meteorito San Juan 021 mostrando claramente a presença de maghemita.

Os espectros Mössbauer a 300 K da parte não magnética do meteorito San Juan 021 (figura 5.6) mostra as fases olivina, piroxênio, troilita, DS-Fe³⁺ e goethita. A parte magnética apresenta as fases Fe-Ni, maghemita, goethita, DS-Fe³⁺ e pequenas quantidades de olivina e piroxênio. Na parte não magnética a baixa temperatura só se identifica a goethita como único produto de alteração, o que indicaria que o DS-Fe³⁺ observado a 300 K corresponderia a pequenas partículas de goethita em estado superparamagnético. A parte magnética mostra a presença de maghemita, goethita e akaganeita, o DS-Fe³⁺ observado a 300 K corresponde unicamente à akaganeita.

A partir da combinação das medidas a 300 K e 4,2 K da amostra total e da separada magneticamente, é possível identificar os seguintes produtos de oxidação: akaganeita, goethita e maghemita. Para todas as áreas estudadas observa-se os mesmos produtos de oxidação (Munayco et al., 2010).

5.3 – DIFERENÇAS NA TAXA DE INTEMPERISMO DAS DIFERENTES ÁREAS.

Os meteoritos do Atacama mostram uma grande variedade de oxidação, como se observa nas figuras 4.3 – 4.7 e tabelas 4.6 – 4.10. Em amostras de SJ & OL a percentagem das fases férricas varia de 8 % a 66 %, de 23 % a 66 % em EM, de 32 – 69 % CEC e de 19 % a 74 % em PM. Para estudar estas diferenças entre as áreas de estudo construiremos um histograma da frequência de oxidação para as áreas de SJ & OL, EM & CEC e PM, agruparemos as amostras de EM e CEC dado que as mesmas foram recuperadas em áreas com condições climatológicas e geomorfológicas muito similares. Na figura 5.7a observa-se que o histograma apresenta dois máximos, em 20% e 40% para a área de SJ & OL, 40% e 60% para EM & CEC, 20% e 50% para PM. O que indicaria que existem dois tipos de populações de meteoritos para estas áreas. Estes máximos representariam a oxidação máxima que estas populações alcançariam antes de desaparecer da população total. Isto é a máxima oxidação antes do meteorito ser destruído totalmente pelo intemperismo.

Na figura 5.7b mostra-se o histograma separando os meteoritos por grupo químico H e L/LL, é evidente que as duas populações correspondem às contribuições dos tipos H e L/LL. Como esperados, os condritos do tipo L/LL se

mostram menos intemperizados que os meteoritos do tipo H, devido ao seu menor conteúdo de ferro. O máximo para os condritos tipo L/LL é menor na área de SJ & OL e se incrementa para as áreas de EM & CEC e PM. O máximo que corresponde à população de condritos tipo H é de 40% em SJ & OL, incrementa-se para 60 % na área de EM & CEC e na área de PM este tipo de meteorito está ausente.

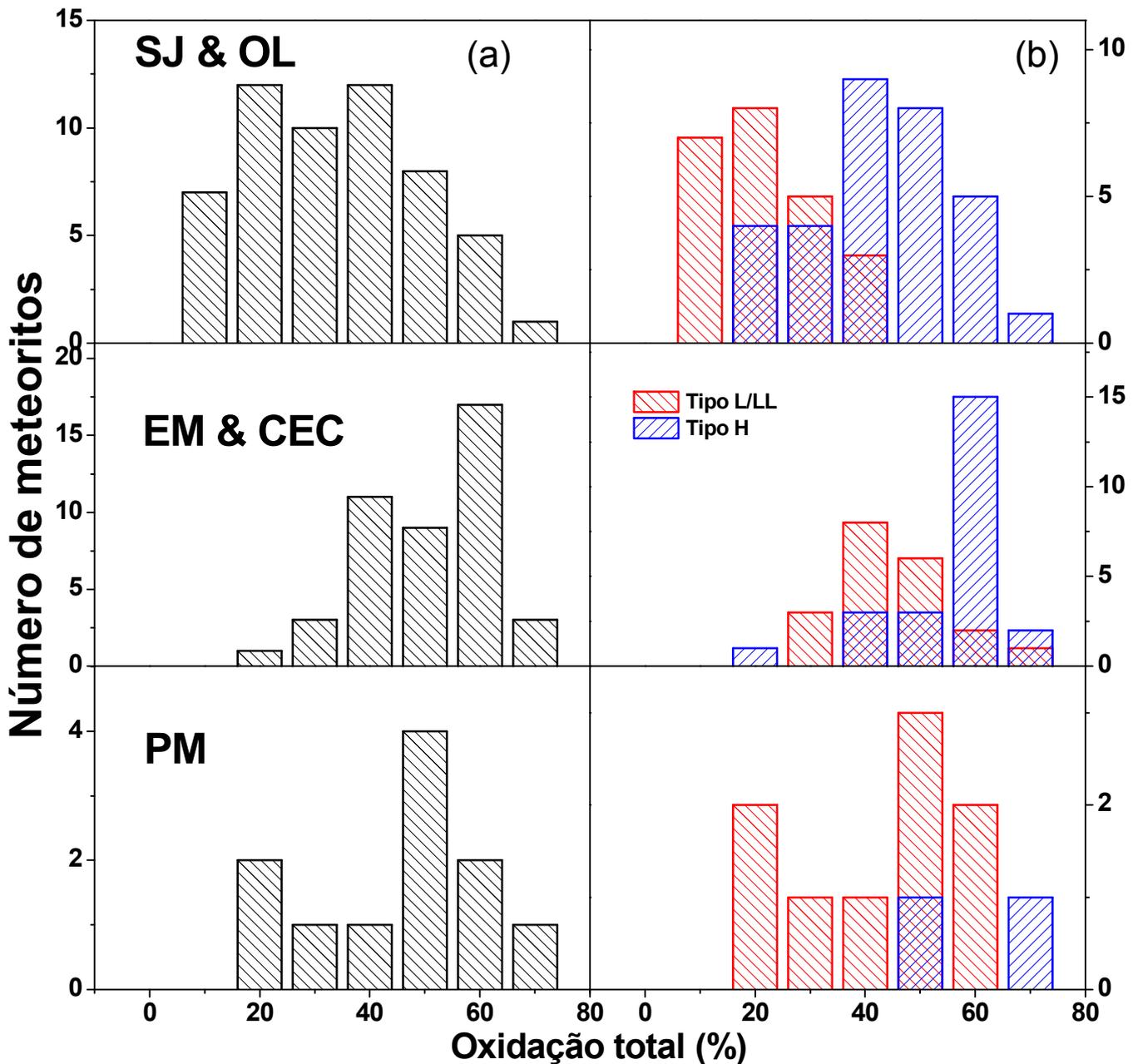


Figura 5.7 – a) Histograma da frequência de oxidação para as áreas de SJ & OL, EM & CEC e PM., b) separadas por grupo químico H e L/LL.

Este comportamento é coerente com o fato de SJ & OL e EM & CEC corresponderem a áreas mais secas que PM que se encontra na zona CC (ver Capítulo 1 e figura 1.1). Os meteoritos tipo H seriam rapidamente destruídos pelo intemperismo em PM e só restariam os tipos L/LL que são mais resistentes ao intemperismo. Uma aparente contradição ocorre entre as áreas de SJ & OL e EM & CEC pela sua localização geográfica no meio de uma deflação geomorfológica, que serve como uma barreira protetora para umidade proveniente da costa e dos Andes, as áreas de EM & CEC são consideradas áreas muito mais secas que SJ & OL, então espera-se que os meteoritos destas áreas sejam menos intemperizados que os de SJ & OL.

Esta aparente discrepância poderia ser entendida levando em consideração outros fatores que podem influenciar nos processos de intemperismo. Um fato importante é a idade terrestre que é o tempo de residência na terra dos meteoritos (Capítulo 2). Poderia-se esperar que amostras com idades terrestres maiores tenham um grau maior de oxidação, pois ficaram mais tempo expostas ao ambiente terrestre. Assim, pode-se pensar que as amostras de EM & CEC são mais antigas que as amostras de SJ & OL o que explicaria o maior grau de oxidação observado nestas áreas. As idades terrestres dos meteoritos de SJ (capítulo 2) mostram idades superiores a 20 ka o que sugeriria que os meteoritos das áreas de EM & CEC teriam idades superiores.

5.4 – ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER VS DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Os resultados obtidos por DRX-T e DRX-RS mostram as fases primárias: olivina, ortopiroxênio, diópsido, anortita, albita, Fe-Ni (kamacita), troilita e os produtos do intemperismo: nchwangingita, goethita, maghemita, akaganeita (Munayco et al., 2011). Nchwangingite somente é detectada em uma amostra de PM e em 10 amostras de SJ. É a primeira vez que este mineral é identificado em meteoritos. Nchwangingita é um silicato hidratado de magnésio ($Mn_2SiO_3(OH)_2 \cdot H_2O$), mineral raro descoberto em 1995 (Nyfeler et al., 1995).

Albita, anortita diópsido são fases que não são detectadas pela espectroscopia Mössbauer por não conter ferro, o que constitui uma vantagem da difração de raios-X na caracterização das fases primárias presentes nos meteoritos quando comparada com a espectroscopia Mössbauer.

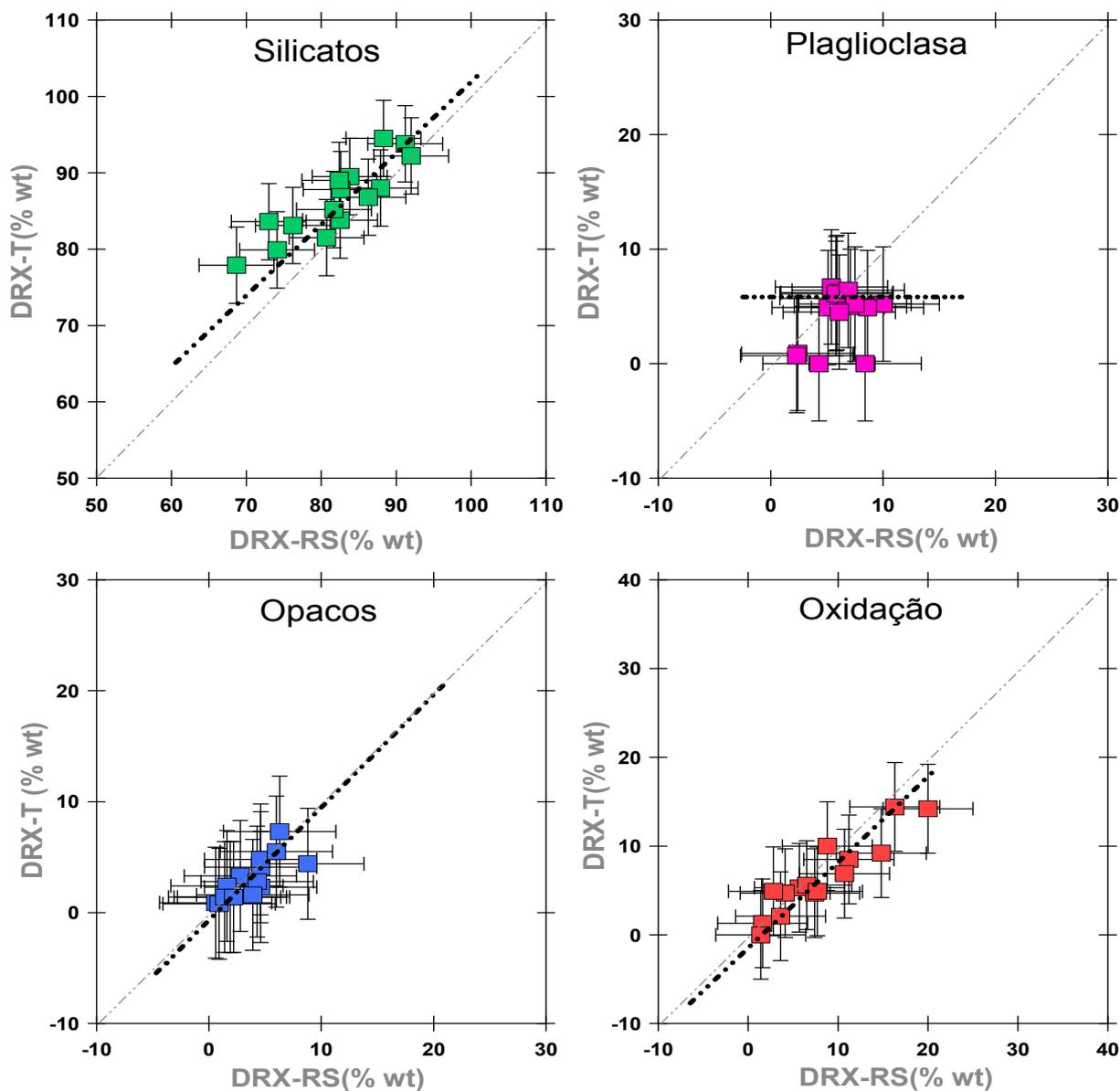


Figura 5.8 – Comparação dos silicatos, paglioclasi, opacos e óxidos de Fe, expressado em % wt, obtidos por DRX-T e DRX-RS.

Na figura 5.8 é mostrada uma comparação entre os silicatos (olivina + ortopiroxênio), plagioclasi (albita + anortita), opacos (Fe-Ni + troilita) e óxidos de Fe obtidos pela DRX-T e DRX-RS. Observa-se uma relação linear entre os dados obtidos para os silicatos, opacos e óxidos de Fe. No entanto, no caso do plagioclasi a relação não segue o mesmo comportamento. Isto pode ser explicado pelo fato da DRX-T não conseguir detectar a albita, talvez devido à falta de resolução dos picos. Diferentemente as medidas de DRX-RS conseguem detectar albita e anortita.

Nos difratogramas DRX-T e DRX-RS é difícil identificar akaganeita devido à sua pobre cristalinidade ou ao seu pequeno tamanho de partícula. Porém, akaganeita é claramente observada magneticamente ordenada nas medidas de espectroscopia Mössbauer a baixa temperatura, indicando um comportamento superparamagnético. A dificuldade para detectar akaganeita, mesmo com radiação síncrotron, é uma desvantagem da difração de raios-X em relação à espectroscopia Mössbauer no estudo dos produtos do intemperismo em meteoritos.

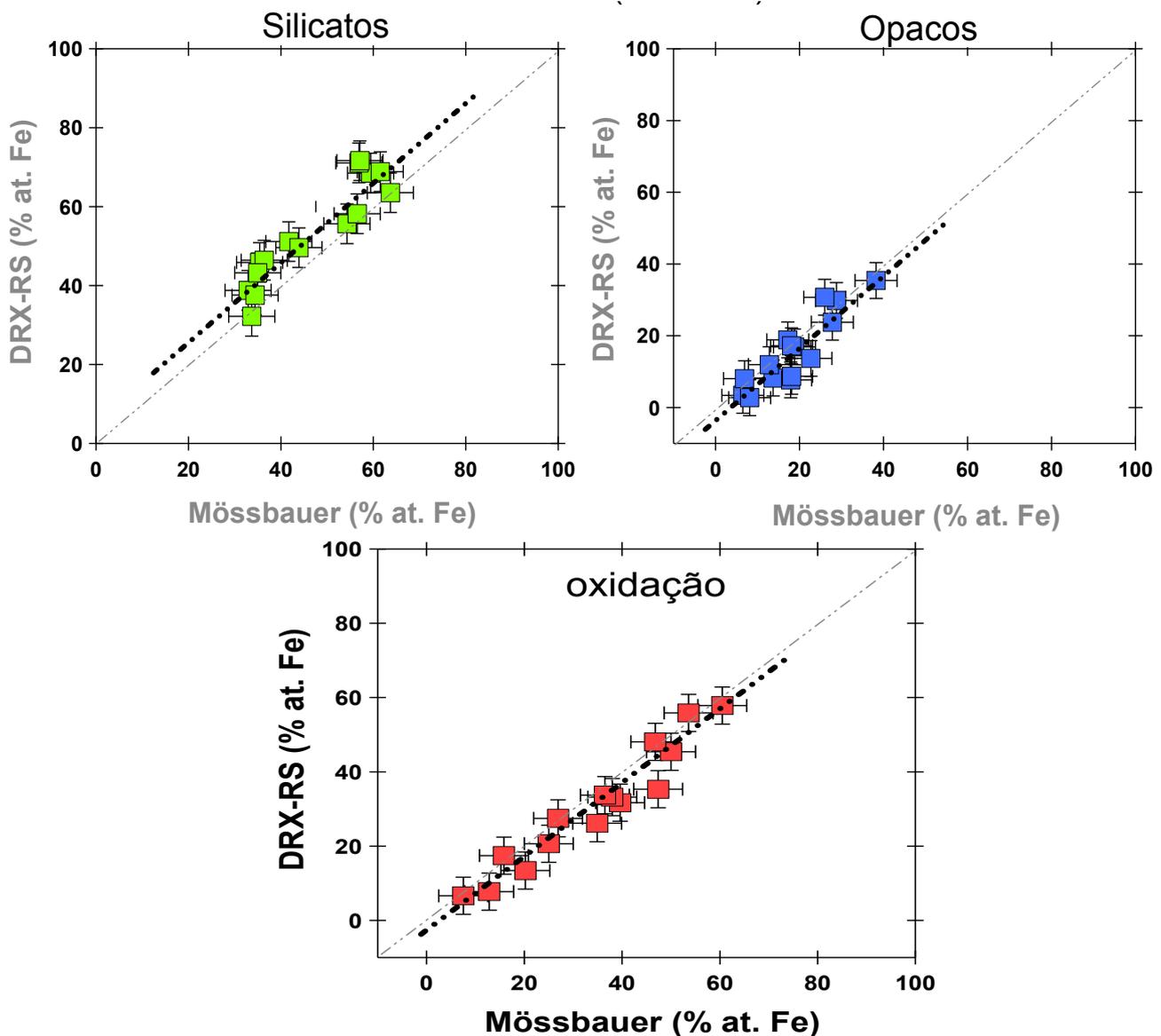


Figura 5.9 – Comparação dos silicatos, opacos e óxidos de Fe, expressado em % at Fe, obtidos por DRX-RS e Mössbauer.

A figura 5.9 mostra a comparação entre Mössbauer e DRX-RS para os silicatos (olivina e ortopiroxênio), opacos (Fe-Ni e troilita) e os produtos de oxidação (akaganeita, goethita e maghemita) expressos em % at. Fe.

A percentagem de silicatos, opacos e produtos de oxidação mostram um comportamento comparável entre os resultados obtidos por Mössbauer e DRX-RS. A quantificação dos silicatos obtidos pela difração de raios-X sempre está acima dos obtidos pela espectroscopia Mössbauer. Isto pode ser devido ao fato de que no processo de conversão um valor médio obtido dos resultados da microsonda é utilizado para o teor de ferro da olivina e do ortopiroxênio, entretanto, a espectroscopia Mössbauer estima a quantidade de Fe total presente na amostra.

A oxidação total obtida por difração de raios-X é sempre menor que a obtida pela espectroscopia Mössbauer fato que pode ser explicado pela dificuldade de detectar akaganeita nos difratogramas, resultando em um valor menor na oxidação total.

5.5 – SUSCEPTIBILIDADE VS OXIDAÇÃO

A figura 5.10 (a) mostra o logaritmo da susceptibilidade ($\log \chi$) observando-se uma diminuição com a oxidação para as amostras dos tipos H e L. Esta diminuição do log da susceptibilidade com a oxidação tem sido observada em trabalhos prévios no estudo de meteoritos achados no deserto do Sahara (Rochette et al., 2010) e Atacama (Rochette et al., 2012). Quando o meteorito é intemperizado, as fases primárias são transformadas em óxidos de Fe, estes óxidos podem ser ferromagnéticos (por exemplo, maghemita), paramagnéticos (akaganeita) ou antiferromagnéticos (goethita), sendo que estes dois últimos não contribuem para a susceptibilidade magnética, o que produziria a diminuição na susceptibilidade magnética em meteoritos intemperizados. Para estudar a contribuição da maghemita na susceptibilidade magnética plotamos o percentual de oxidação subtraindo a percentagem de maghemita (figura 5.10(b)), observar-se o mesmo comportamento exibido na figura 5.10 (a), o que indicaria que a maghemita não contribui de forma significativa para susceptibilidade magnética dos meteoritos intemperizados. . A figura 5.10(c) mostra o $\log \chi$ em função do conteúdo de metal das amostras observando-se

um incremento de $\log \chi$ com o conteúdo de metal, comportamento similar ao das amostras do tipo H, o que é coerente com o maior conteúdo de metal deste tipo de meteorito. Isto indicaria que o metal contribui de forma significativa para a susceptibilidade magnética. O conteúdo de metal diminui com a oxidação (figura 5.2) o que produzira a diminuição de $\log \chi$ com o incremento da oxidação (5.10(a)).

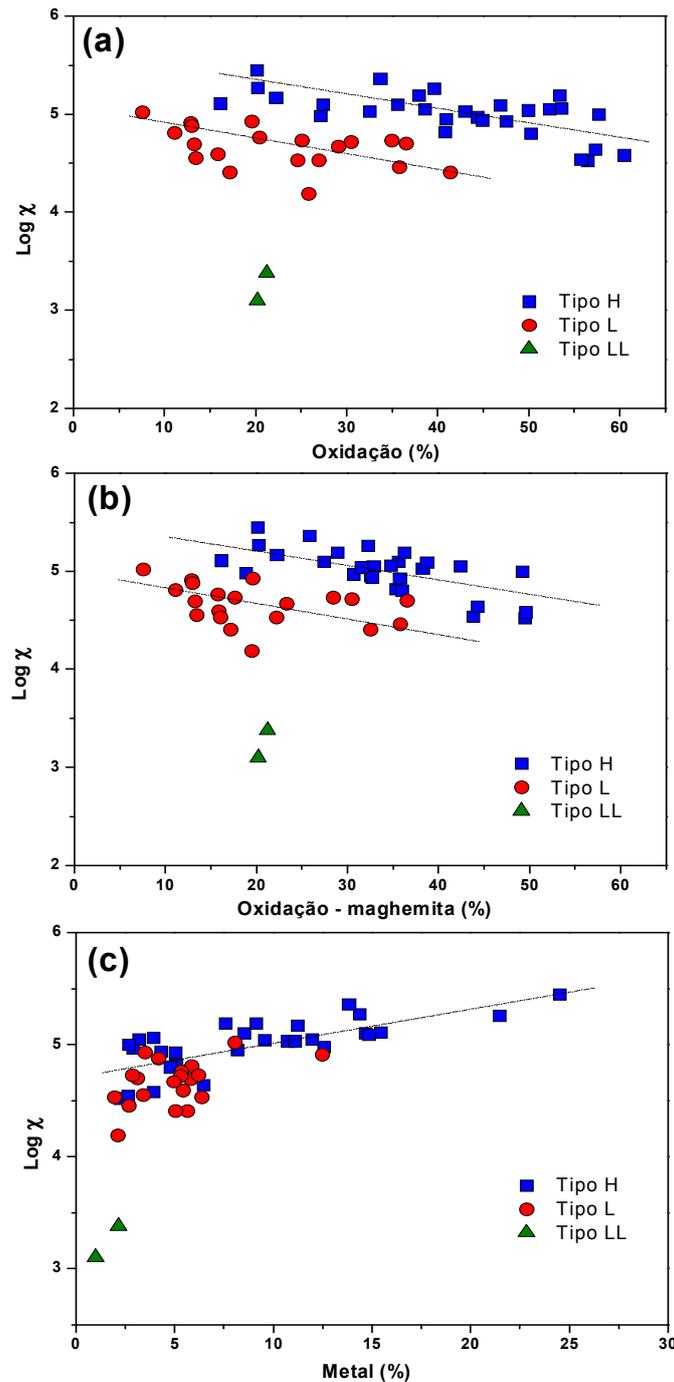


Figura 5.10– Log da susceptibilidade, para meteoritos coletados na área de SJ, em função de: (a) a oxidação, (b) oxidação – maghemita, (c) conteúdo de metal. A linha tracejada é somente uma guia.

Capítulo 6 - CONCLUSÕES

Nesta tese são estudados os efeitos do intemperismo de meteoritos coletados em diferentes áreas do deserto de Atacama, considerado como um dos mais antigos e secos do mundo, apresentando diferentes condições climáticas e geomorfológicas. Os meteoritos correspondem a condritos ordinários dos grupos químicos H, L e LL. As amostras foram coletadas em várias missões realizadas no deserto de Atacama pelo CEREGE, a Universidade de Chile e o CBPF, nas áreas conhecidas como San Juan, El Médano, Caleta el Cobre, Pampa de Mejillones.

O nosso objetivo é estudar os efeitos do intemperismo nas condições climatológicas e geomorfológicas presentes nas diferentes áreas do deserto de Atacama. Para isto utilizamos principalmente a espectroscopia Mössbauer do ^{57}Fe , que é sensível a fases mineralógicas contendo Fe, incluindo os óxidos de Fe formados pelo processo de intemperismo. A espectroscopia Mössbauer é utilizada em combinação com a difração de raios-X tradicional e com radiação síncrotron, susceptibilidade magnética e microscopia ótica.

Os resultados da espectroscopia Mössbauer permitem a identificação de fases primárias: olivina, piroxênio, Fe-Ni, troilita e dos produtos de oxidação: akaganeita, goethita e maghemita. Observamos que os primeiros produtos de oxidação são a akaganeita e goethita, que progressivamente vão se transformando em maghemita.

A difração de raios-X permite identificar, além das fases observadas pela espectroscopia Mössbauer, as fases que não contêm ferro: albita, anortita, dióxido e o produto da oxidação: nchwangingita, sendo este raro mineral observado pela primeira vez em meteoritos.

A comparação entre os resultados obtidos pela difração de raios-X e a espectroscopia Mössbauer mostram uma boa concordância. A vantagem da espectroscopia Mössbauer é a detecção de fases superparamagnéticas ou fases com um alto grau de desordem estrutural. Em contrapartida a difração de raios-X consegue identificar fases que não contêm ferro. Assim, ambas as técnicas são complementares no estudo dos produtos de intemperismo em meteoritos. A DRX-T e DRX-RS mostram uma boa relação entre os dados obtidos, porém a DRX-T não consegue diferenciar entre albita e anortita nos difratogramas.

Os valores da susceptibilidade magnética são inferiores aos valores reportados para meteoritos recuperados logo após sua queda, esta diminuição na susceptibilidade magnética é esperada pelo fato do intemperismo transformar as fases metálicas em fases superparamagnéticas ou antiferromagnéticas que não contribuem para a susceptibilidade magnética, que é dominada principalmente pelo conteúdo de metal nos meteoritos.

As amostras das diferentes áreas apresentam padrões de intemperismo diferentes. As amostras de Pampa de Mejillones apresentam um grau de intemperismo maior que as amostras das outras áreas, fato coerente com sua localização geográfica, que sofre diretamente da umidade vinda da parte costeira do deserto. Amostras recuperadas nas áreas de San Juan apresentam um grau de intemperismo menor que as amostras de El Médano e a Caleta el Cobre, apesar destas últimas áreas localizarem-se geograficamente em regiões mais secas, o que poderia ser explicado pelas diferenças nas idades terrestres destes meteoritos. Assim, as amostras de El Medano e a Caleta el Cobre seriam amostras mais antigas com idades superiores a 40ka o que justificaria seu maior intemperismo em relação a San Juan, cujas idades terrestres são inferiores a 40 ka.

REFERÊNCIAS

- Barrero C., García K. E., Morales A. L., Kodjikian S., and Greneche J. M. (2006) New analysis of the Mössbauer spectra of akaganéite. *Journal of Physics: Condensed Matter* **18**, 6827-6840.
- Bevan A. W. R. (2006) Desert meteorites: a history. *Geological Society: Special Publications*, **256**, 325-343.
- Bland P. A., Bevan A. W. R., and Jull A. J. T. (2000) Ancient meteorite finds and the earth's surface environment. *Quaternary Research* **53**(2), 131-142.
- Bland P. A., Sexton A. S., Jull A. J. T., Bevan A. W. R., Berry F. J., Thornley D. M., Astin T. R., Britt D. T., and Pillinger C. T. (1998) Climate and rock weathering: A study of terrestrial age dated ordinary chondritic meteorites from hot desert regions. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **62**(18), 3169-3184.
- Bland P. A., Smith T. B., Jull A. J. T., Berry F. J., Bevan A. W. R., Cloudt S., and Pillinger C. T. (1996) The flux of meteorites to the Earth over the last 50,000 years. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **283**(2), 551-565.
- Brearley A. J. and Jones R. H. (1998) Chondritic meteorites. In *Planetary Materials* (ed. J. J. Papike). Mineralogical Society of America, Washington D.C.
- Buchwald V. F. (1977) Mineralogy of Iron-Meteorites. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series a-Mathematical Physical and Engineering Sciences* **286**(1336), 453-&.
- Buchwald V. F. and Clarke R. S. (1989) Corrosion of Fe-Ni Alloys by Cl-Containing Akaganéite (Beta-FeOOH) - the Antarctic Meteorite Case. *American Mineralogist* **74**(5-6), 656-667.
- Dunai T. J., Lopez G. A. G., and Juez-Larre J. (2005) Oligocene-Miocene age of aridity in the Atacama Desert revealed by exposure dating of erosion-sensitive landforms. *Geology* **33**(4), 321-324.
- Garreaud R. D., Molina A., and Farias M. (2010) Andean uplift, ocean cooling and Atacama hyperaridity: A climate modeling perspective. *Earth and Planetary Science Letters* **292**(1-2), 39-50.
- Gattacceca J., Valenzuela M., Uehara M., Jull A. J. T., Giscard M., Rochette P., Braucher R., Suavet C., Gounelle M., Morata D., Munayco P., Bourot-Denise M., Bourles D., and Demory F. (2011) The densest meteorite collection area in hot deserts: The San Juan meteorite field (Atacama Desert, Chile). *Meteoritics & Planetary Science* **46**(9), 1276-1287.
- Gooding J. L. (1986) Clay-Mineraloid Weathering Products in Antarctic Meteorites. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **50**(10), 2215-2223.

- Grossman J. N. (1988) Meteorites - Chondrites and the Solar Nebula. *Nature* **334**(6177), 14-15.
- Halliday I., Blackwell A. T., and Griffin A. A. (1989) The Flux of Meteorites on the Earths Surface. *Meteoritics* **24**(3), 173-178.
- Hartley A. J., Chong G., Houston J., and Mather A. E. (2005) 150 million years of climate stability: Evidence from the Atacama Desert, northern Chile. *Geological Society of London Journal* **162**, 421-441.
- Houston J. and Hartley A. J. (2003) The central andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of HYPER-ARIDITY in the Atacama desert. *International Journal of Climatology* **23**(12), 1453-1464.
- Hutchison R. (2004) *Meteorites: a petrologic, chemical and isotopic synthesis* Cambridge University, Cambridge. pp. 506.
- Jones R. H. (1998) A Compilation of Olivine and Low-Ca Pyroxene Compositions in Type 4-6 Ordinary Chondrites. *Proceedings of the 29th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, Abstract 1397.
- Jull A. J. T., McHargue L. R., Bland P. A., Greenwood R. C., Bevan A. W. R., Kim K. J., LaMotta S. E., and Johnson J. A. (2010) Terrestrial ages of meteorites from the Nullarbor region, Australia, based on ¹⁴C and ¹⁴C-¹⁰Be measurements. *Meteoritics & Planetary Science* **45**(8), 1271-1283.
- Jull A. J. T., McHargue L. R., Spears G., Johnson J. A., Kim K. J., and Bland P. A. (2006) Terrestrial ages of meteorites using C-14 and C-14/Be-10 from different hot deserts. *Meteoritics & Planetary Science* **41**(8), A209-A209.
- Krot A. N., Keil K., Goodrich C. A., Scott E. R. D., and Weisberg M. K. (2005) Classification of Meteorites. In *Meteorites, Comets, and Planets* (ed. A. M. Davis), pp. 84-120. Elsevier-Pergamon, Oxford.
- Long G. J., Cranshaw T. E., and Inngworth G. (1983) The ideal Mössbauer effect absorber thicknesses *Mössbauer Effect Reference Data Journal* **6**, 42-49.
- Lutterotti L. (2010) Total pattern fitting for the combined size-strain-stress-texture determination in thin film diffraction. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B* **268**, 334-340.
- Munayco J., Munayco P., Valenzuela E. M., Gattacceca J., Rochette P., and Scorzelli R. B. (2010) Mossbauer Spectroscopy Studies of Weathering in Ordinary Chondrites from the San Juan Strewn Field at the Atacama Desert. *Meteoritics & Planetary Science* **45**, A143-A143.
- Munayco P., de Avillez R. R., de Campos J. B., Dos Santos E., Valenzuela M., and Scorzelli R. B. (2009) Weathering of Ordinary Chondrites from the Atacama Desert, Chile, by Synchrotron X-Ray Diffraction and Mossbauer Spectroscopy. *Meteoritics & Planetary Science* **44**, A150-A150.

- Munayco P., Munayco J., Avillez R. R., Valenzuela M., Gattacceca J., Rochette P., and Scorzelli R. B. (2011) Synchrotron X-Ray Diffraction and Mossbauer Spectroscopy Studies of Weathering Effects on Ordinary Chondrites from the Atacama Desert, Chile. *Meteoritics & Planetary Science* **46**, A169-A169.
- Munayco P., Valenzuela E. M., Scorzelli R. B., de Campos J. B., Avillez R. R., Rochette P., Gattacceca J., Suavet C., Denise M., and Morata D. (2008) Room- and low-temperature Mossbauer spectroscopy for ordinary chondrites from the San Juan Strewn field at the Atacama Desert (Chile). *Meteoritics & Planetary Science* **43**(7), A105-A105.
- Muñoz C., Guerra J., Martínez-Frías J., Lunar R., and Cerda J. (2007) The Atacama Desert: A preferential arid region for the recovery of meteorites—Find location features and strewnfield distribution patterns. *Journal of Arid Environments* **71**, 188–200.
- Nyfeler D., Armbruster T., Dixon R., and Bermanec V. (1995) Nchwangingite, $Mn_{2+}2SiO_3(OH)_2 \cdot H_2O$, a new pyroxene-related chain silicate from the N'chwanging mine, Kalahari manganese field, South Africa. *American Mineralogist* **80**, 377-386.
- Rancourt D. G., McDonald A. M., Lanlonde A. E., and Ping J. Y. (1993) Mössbauer absorber thicknesses for accurate site populations in Fe-bearing minerals. *American Mineralogist* **78**, 1-7.
- Rochette P., Gattacceca J., and Lewandowski M. (2012) Magnetic classification of meteorites and application to Soltmany fall. *Meteorites* **accepted**.
- Rubin A. E. (1997) Mineralogy of meteorite groups. *Meteoritics & Planetary Science* **32**(2), 231-247.
- Rubin A. E. and Grossman J. N. (2010) Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteoritics & Planetary Science* **45**(1), 114-122.
- Rubin A. E., Scott E. R. D., and Keil K. (1997) Shock metamorphism of enstatite chondrites. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **61**(4), 847-858.
- Rundell P. W., Dillon M. O., Palma B., Mooney H. A., Gulmon S. L., and Ehlenringer J. R. (1991) The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian Desert. *Aliso* **13**, 1-49.
- Russell S. S., Zipfel J., Folco L., Jones R., Grady M. M., McCoy T., and Grossman J. N. (2003) The Meteoritical Bulletin No. 87. *Meteoritics & Planetary Science* **38**(7), A189-A248.
- Scherer P., Schultz L., Neupert U., Knauer M., Neumann S., Leya I., Michel R., Mokoš J., Lipschutz M. E., Metzler K., Suter M., and Kubik P. W. (1997) Allan Hills 88019: An Antarctic H-chondrite with a very long terrestrial age. *Meteoritics & Planetary Science* **32**(6), 769-773.
- Scorzelli R. B., Munayco P., and Varela M. E. (2008) Fe²⁺ disorder study in pyroxene from the shergotty meteorite by Mossbauer spectroscopy. *Meteoritics & Planetary Science* **43**(7), A141-A141.

- Scott E. R. D. and Krot A. N. (2005) Chondrites and their Components. In *Meteorites, Comets, and Planets* (ed. A. M. Davis), pp. 144-190. Elsevier-Pergamon, Oxford.
- Sears D. W. G., W. K. G., and Wasson J. T. (1982) The Compositional Classification of Chondrites: II. The Enstatite Chondrite Groups. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **46**, 597-608.
- Stoffler D., Keil K., and Scott E. R. D. (1991) Shock Metamorphism of Ordinary Chondrites. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **55**(12), 3845-3867.
- Valenzuela M., Abdu Y., Scorzelli R. B., Duttine M., Morata D., and Munayco P. (2007) Room temperature (57)Fe Mossbauer spectroscopy of ordinary chondrites from the Atacama Desert (Chile): constraining the weathering processes on desert meteorites. *Hyperfine Interactions* **175**(1-3), 9-14.
- Vanschmu W. and Wood J. A. (1967) A Chemical-Petrologic Classification for Chondritic Meteorites. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **31**(5), 747-&.
- Wason J. T. and Wetherill G. W. (1979) Dynamical, chemical and isotopic evidence regarding the formation locations of asteroids and meteorites. In *Asteroids* (ed. Gehrels). Univeristy of Arizona Tuscon.
- Weisberg M. K. (2011a) The Meteoritical Bulletin No. 99. *Meteoritics & Planetary Science* **46**(in preparation).
- Weisberg M. K. (2011b) The Meteoritical Bulletin no. 100. *Meteoritics & Planetary Science* **46**(in preparation).
- Weisberg M. K., Smith C., Benedix G., Folco L., Righter K., Zipfel J., Yamaguchi A., and Aoudjehane H. C. (2009) The Meteoritical Bulletin No. 95. *Meteoritics & Planetary Science* **44**(3), 429-462.
- Weisberg M. K., Smith C., Benedix G., Herd C. D. K., Righter K., Haack H., Yamaguchi A., Chennaoui Aoudjehane H., and Grossman J. N. (2010) The Meteoritical Bulletin No. 97. *Meteoritics & Planetary Science* **45**(3), 449-493.
- Wlotzka F. (1993) A Weathering scale for the Ordinary Chondrites. *Meteoritics* **28**, 460.

APÊNDICE A - ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER

A espectroscopia Mössbauer, que faz uso das energias emitidas em transições entre estados nucleares, é uma técnica experimental de grande precisão e é utilizada nos mais diversos campos da Ciência, desde a pesquisa fundamental em Física até o estudo de tecidos biológicos.

Aqui apresentaremos os aspectos fundamentais do Efeito Mössbauer e dos principais aspectos físicos observados com técnica espectroscópica.

1 - O Efeito Mössbauer

A emissão gama numa transição de estado nuclear é observada em todos os núcleos com número de massa maior que cinco e geralmente ocorre após outro decaimento nuclear alfa o beta. Nestes últimos, em geral, o núcleo filho “nasce” num estado excitado e posteriormente decai emitindo um raio gama. Num processo deste tipo a meia-vida típica do estado emissor γ é da ordem de 10^{-9} s. Dadas as dimensões e interações envolvidas com os decaimentos nucleares, em geral, considera-se que o decaimento de um núcleo é independente do decaimento dos núcleos vizinhos (isto está implícito na Lei do Decaimento Radiativo $N(t) = N_i e^{-\lambda t}$ deduzida com considerações probabilísticas).

Se o fóton γ emitido num processo como no descrito no paragrafo anterior atinge outro núcleo idêntico ao núcleo emissor no estado fundamental ele poderá ser absorvido produzindo uma excitação para um estado com energia igual àquela do núcleo emissor antes do decaimento. Numa situação física real, além da incerteza relacionada com o princípio de Heisenberg, a energia do fóton γ dependerá de diversos fatores como o estado de ligação do átomo que contém o núcleo emissor e a forma com que ele responde ao decaimento. A absorção do fóton γ , por sua vez, dependerá da situação de movimento relativo entre os núcleos absorvedor e emissor, da direção de propagação do fóton, da seção de choque de interação, de como o que havia na trajetória do raio alterou ou não sua energia, etc. assim, dada a natureza quântica dos fenômenos envolvidos, a ressonância entre emissão e absorção ocorrerá apenas em condições muito particulares.

Seja E_0 a diferença de energia entre dois níveis nucleares e seja E_γ a energia de um fóton emitido numa transição do estado de maior energia para o menor.

Considerando apenas o recuo do átomo emissor, que inicialmente estava em repouso, temos que:

$$E_\gamma = E_0 - E_R \quad (\text{A-1})$$

Onde E_R é a energia de recuo do átomo:

$$E_R = \frac{M}{2} v_R^2 = \frac{(Mv_R)^2}{2M} = \frac{p^2}{2M} = \frac{\left(\frac{E_\gamma}{c}\right)^2}{2M} \quad (\text{A-2})$$

Onde utilizando o fato de que momentos lineares do fóton e o associado ao recuo são iguais $Mv_R = E_\gamma/c$. Devemos notar, em particular, que na expressão final para E_R a massa do átomo emissor aparece no denominador.

Consideremos agora um material sólido. Neste caso, o movimento do átomo está fortemente associado às suas interações com os átomos vizinhos na rede. Podemos caracterizar este movimento relacionando-o com a temperatura do sólido e com as forças às quais ele está submetido. Também pelo fato de estar ligado devemos considerar que inicialmente o átomo não estava em repouso já que há vibrações (fônons) determinadas pelos parâmetros de toda a rede. Isto leva a uma diferença de energia devida ao efeito Doppler (em primeira ordem, com $V \ll c$, $E' = E \left(1 \pm \frac{V}{c}\right)$) de:

$$E_D = \frac{\vec{p}_a \cdot \vec{p}_\gamma}{2M} = \frac{V}{c} E_\gamma \cos\alpha \quad (\text{A-3})$$

Onde \vec{p}_a é o momento linear do átomo e V sua velocidade no movimento de vibração. Assim, passamos a considerar:

$$E_\gamma = E_0 - E_R + E_D \quad (\text{A-4})$$

Como na verdade há uma distribuição de velocidades possíveis para um átomo numa rede a uma determinada temperatura, o efeito Doppler leva a um alargamento do espectro de emissão de uma amostra contendo núcleos emissores γ . Pode-se estimar este alargamento por exemplo supondo uma distribuição de Maxwell para as possíveis velocidades: $\exp(-mv_x^2/2kT)$ (onde v_x é a velocidade na direção de propagação do fóton). Substituindo $v_x = \pm c(-E_\gamma/E + 1)$ do efeito Doppler, teremos $\exp\left(-\frac{mc^2}{2kT}(1 - E/E_\gamma)^2\right)$. Como trata-se de uma distribuição gaussiana, a largura aproximada é dada por:

$$\Delta D \approx 2E_\gamma \sqrt{\frac{kT}{Mc^2}} \quad (\text{A-5})$$

À temperatura ambiente, com $E_\gamma \approx 10^5 \text{ eV}$ e M aproximadamente 100 massas de repouso do próton, $\Delta D \approx 0,1 \text{ eV}$.

Se compararmos os espectros de emissão de um núcleo e de uma eventual absorção por um núcleo idêntico no estado fundamental, teremos, em geral, uma situação como a apresentada na figura A-1.

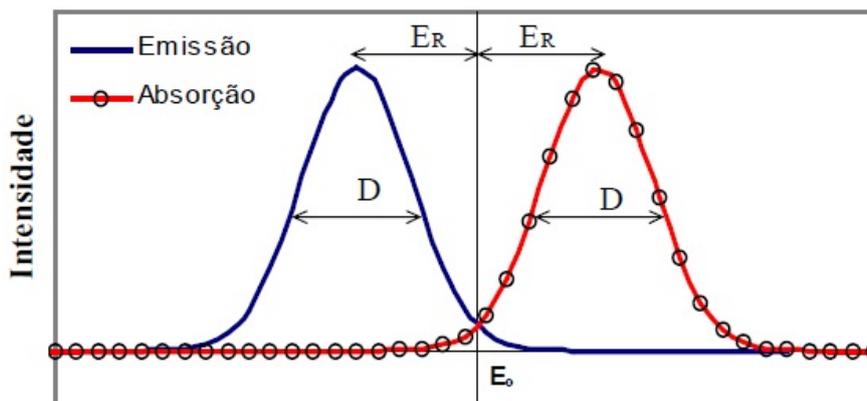


Figura A-1 - Comparação entre espectros de emissão e absorção. Para que haja absorção ressonante, as energias de recuo devem ser minimizadas aumentando a superposição dos espectros.

Nesta comparação consideramos a equação (A-4) para cada espectro, assim como o respectivo alargamento Doppler.

Num experimento em que se pretende fazer uso da absorção ressonante é preciso aumentar a área de superposição dos espectros ao máximo. Isto pode ser conseguido de diversas formas trabalhando com cada um dos aspectos discutidos anteriormente. Para um núcleo livre, que passa por ter um momento linear igual em módulo, mas em sentido oposto ao momento do fóton emitido, E_R é da mesma ordem que ΔD . Isto levaria a uma área de superposição dos espectros de emissão e absorção muito insignificante.

O fenômeno físico conhecido como efeito Mössbauer é a absorção ressonante para energias relacionadas a transições entre estados nucleares quando o termo E_R em (A-4) pode ser desprezado.

Num sólido, E_R pode ser desprezado pelo menos para uma fração das emissões, já que o núcleo não tem liberdade suficiente para recuar. Para esta fração, é como se a massa no denominador em (A-2) fosse a massa de todo o

sólido (a energia de ligação típica num sólido está entre 1 eV e 10 eV e a E_R é da ordem de 0,1 eV).

Aqui, como estamos delineando os aspectos gerais do fenômeno, consideramos uma aproximação de primeira ordem para o efeito Doppler, mas há diversas circunstâncias em que é preciso considerar ordens superiores. Para se obter a expressão adequada, é preciso ter em mente os valores da frequência de vibração na rede e a duração do estado nuclear envolvido, e a partir deles, saber com quanto cada ordem de V/c contribuirá.

As vibrações na rede sólida onde estão os núcleos emissores e absorvedores, na verdade, não levam apenas ao efeito Doppler, elas também determinam se um núcleo recua ou não quando ele emite ou absorve um fóton γ . Os modos de vibração, por sua vez, são determinados pelas dimensões dos sólidos, pela temperatura, pelas forças às quais estão submetidos, etc. Se x é a posição do núcleo em relação à sua posição de equilíbrio, a fração do núcleo que não recua é dada por:

$$f = \exp\left(-\frac{x^2}{\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2}\right) \quad (\text{A-6})$$

Onde $\langle x^2 \rangle$ é a amplitude quadrática média de oscilação do núcleo e λ o comprimento de onda do fóton emitido. Assim, vemos que o valor de $\langle x^2 \rangle$ é fundamental para a existência do efeito Mössbauer. Apesar de só termo falado sobre sólidos até agora, o efeito também pode ser observado em líquidos com $\langle x^2 \rangle$ pequeno.

Pelo modelo de Debye, os modos de vibração da rede têm uma frequência máxima ν_m e uma correspondente temperatura $T_m = h\nu_m/k$. Usando a função de distribuição de Bose-Einstein pode-se calcular o valor de $\langle x^2 \rangle$ e obter f .

Naturalmente, e como citamos anteriormente, a absorção ressonante do fóton γ depende da seção de choque do núcleo absorvedor. Para espectros de emissão com largura Δ , onde devemos entender que trata-se de uma largura total considerando as diversas contribuições, pela fórmula de Breit-Wigner, a seção de choque é dada por:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\Delta^2}{\Delta^2 + 4(E - E_0)^2} \quad (\text{A-7})$$

Sendo σ_0 a seção de choque máxima:

$$\sigma_0 = 2\pi \left(\frac{\hbar c}{E_\gamma} \right)^2 \frac{2I_e + 1}{2I_f + 1} \left(\frac{1}{1 + \alpha} \right) \quad (\text{A-8})$$

Onde I_e e I_f são os spins nucleares totais dos estados excitados e fundamental respectivamente, e α o coeficiente de conversão interna total. A conversão interna é um processo que “compete” com o decaimento γ onde a energia de uma desexcitação é absorvida pelo próprio átomo, pode, por exemplo, ocorrer a liberação de um elétron. Note-se que, naturalmente, a seção de choque depende do inverso da energia do fóton incidente.

2 - Principais características de uma montagem experimental típica

O procedimento mais comum é expor uma fina amostra sólida contendo núcleos potencialmente absorvedores em seu estado fundamental à radiação γ emitida por uma outra amostra contendo os mesmos núcleos inicialmente em seus estados excitados. Um detector de radiação γ é posicionado após a amostra absorvedora e observa-se a ressonância ou não. O experimento consiste em traçar uma curva da radiação transmitida através dessa última amostra em função da velocidade relativa entre duas amostras.

A princípio, apenas para a velocidade relativa entre as amostras igual a zero é que heveria absorção ressonante. Assim, pode-se pensar, em geral, que a curva de radiação transmitida terá um mínimo bem definido quando a velocidade relativa for zero e que sua forma será o inverso da equação (A-7). Esta é a maneira mais comum de se obter uma curva que passa pela condição de ressonância quando da variação de um outro parâmetro, mas pode-se obter curva semelhante, por exemplo, variando a temperatura de uma das amostras. Pode-se ainda variar tanto a temperatura como a velocidade relativa. Na figura A-2 podemos ver um esquema da montagem e o espectro típico.

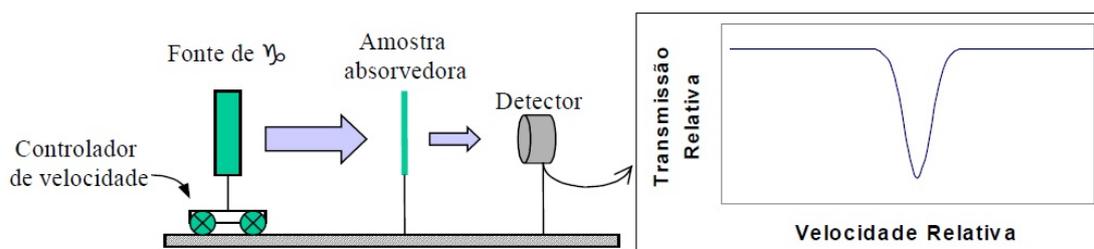


Figura A-2 - Esquema de um arranjo experimental típico.

Para a fonte emissora, pode se usar uma amostra contendo núcleos com grande probabilidade de decair, por algum outro processo diferente do decaimento γ , em um estado excitado que emitira um fóton γ ao se desexcitar. Como exemplo, vemos na figura A-3 um diagrama de decaimento nuclear que resulta em ^{57}Fe .

A amostra absorvedora deve ter, além do núcleo em questão no estado fundamental, pequena espessura para que a quantidade de radiação transmitida seja significativa. Essa espessura deve ser escolhida considerando-se a seção de choque, a fração de emissões livres de recuo e a concentração do núcleo emissor/absorvedor na amostra.

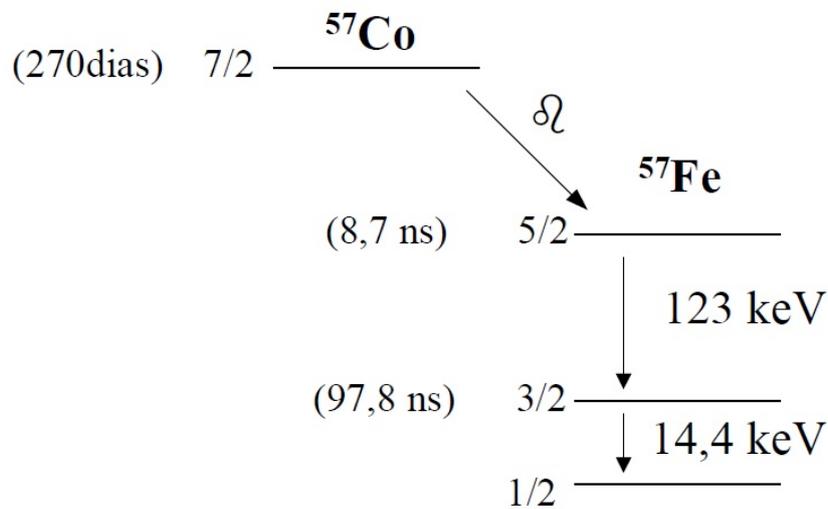


Figura A-3 - Esquema do decaimento de ^{57}Co em ^{57}Fe indicando a meia vida, o spin e a diferença de energia para cada estado.

A velocidade típica, e suficiente para que o efeito Doppler adicional destrua a condição de ressonância, e da ordem de mm/s. Para variar a velocidade relativa pode-se fixar uma das amostras sobre um oscilador mecânico com aceleração constante, sobre uma centrífuga com velocidade de rotação controlável, etc. Mecanismos onde se mantém a velocidade constante são muito usados quando se quer fazer medidas com variação de temperatura. Pode-se ainda usar um modulador da velocidade para fazer uso de detecção modulada.

Como detector, normalmente usa-se um cintilador com um analisador multicanal otimizado para as energias envolvidas.

3 - Interações relevantes

3.1. Deslocamento isomérico

A densidade de probabilidade para funções de onda eletrônicas podem ter valores não nulos dentro da região nuclear. Se consideramos este fato e calculamos as energias para cada estado nuclear e comparamos com cálculos feitos considerando-se o núcleo isolado e pontais, notaremos uma pequena (de ordem hiperfina) diferença entre os valores correspondentes a cada estado. Nos espectros Mössbauer, se temos as amostras emissora e absorvedora ligeiramente diferente teremos densidades também ligeiramente diferentes, o que provoca um deslocamento no valor da energia em que ocorre a absorção ressonante. Estes deslocamentos são conhecidas como deslocamentos isoméricos e são dadas por:

$$\delta = C \frac{\delta R}{R} \left(|\psi_A(0)|^2 - |\psi_F(0)|^2 \right) \quad (\text{A-9})$$

Onde C é uma constante característica do núcleo, δR é a diferença no raio nuclear médio, R , entre os estados excitado e fundamental e $|\psi_i(0)|^2$ representa a densidade de probabilidade eletrônica total no núcleo sendo $i = A$ para o absorvedor e $i = F$ para a fonte de radiação. Naturalmente, apenas os elétrons s contribuem significativamente para estas densidades. No entanto, as funções de onda desses elétrons dependem de suas interações com os elétrons das demais camadas.

Com o estudo sistemático destes deslocamentos pode-se, por exemplo, determinar diferenças entre parâmetros nucleares de diferentes isótopos de um mesmo elemento, pois, nestes casos, o “ambiente químico” é o mesmo e os núcleos são diferentes.

3.2. Efeito Zeeman nuclear

Devido ao momento angular intrínseco (spin) das partículas nucleares, na presença de um campo magnético ocorre o efeito Zeeman para os estados nucleares, ou seja, o desdobramento de níveis de energia com diferentes valores de spin. Se m é o número quântico magnético no núcleo, as diferenças em energia para cada nível desdobrado são dadas pela equação 10 obtida dos autovalores para o hamiltoniano $(-\vec{\mu} \cdot \vec{H})$ de

interação spin-campo calculados com teoria da perturbação até primeira ordem, sendo $\vec{\mu}$ o momento magnético nuclear. Temos por tanto que o desdobramento do nível é proporcional ao campo magnético e ao número quântico magnético, analogamente ao caso dos níveis de energia atômico.

$$E_m = \frac{\mu H m}{I_i} \quad (\text{A-10})$$

As diferentes transições entre estes estados nucleares ocorrem com diferentes probabilidades de transição de acordo com cada caso. Num espectro experimental, estas diferentes probabilidades levam a diferentes intensidades para cada ressonância (figura A-4).

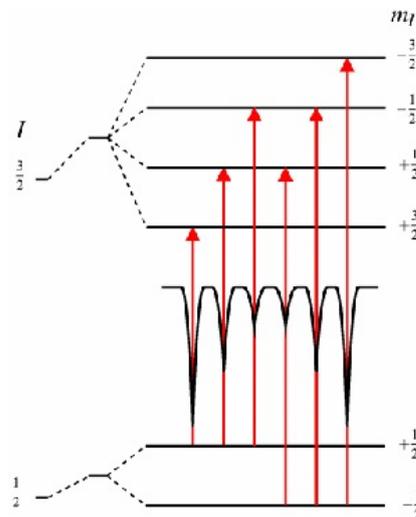


Figura A-4 - Desdobramento de níveis devido ao efeito Zeeman nuclear para o estado fundamental e o primeiro estado excitado de ^{57}Fe .

Com o campo H é o campo magnético total no núcleo, ele pode ter as mais diversas contribuições, o que torna a técnica muito útil no estudo de materiais magnéticos, já que estes possuem campos magnéticos internos intensos. Pode-se obter o valor desse campo magnético local medindo-se os desdobramentos se os momentos são conhecidos. E ainda, conhecendo-se o momento do estado fundamental, pode-se determinar o momento do estado excitado. Se a determinação do valor H é feita em função da temperatura, pode-se fazer estudos relacionando a estrutura interna da amostra com a teoria de ondas de spin.

3.3. Momento de quadrupolo elétrico

Os núcleos atômicos podem apresentar também momento de quadrupolo elétrico, o que reflete a natureza das forças entre as partículas nucleares e os diferentes “formatos” para os núcleos. Este momento pode interagir com um gradiente de campo elétrico local de forma a provocar um desdobramento (ΔE_Q) de níveis de energia. E_Q é dada pela equação (A-11). (eQ) é o momento de quadrupolo elétrico, V_{rr} são as componentes do gradiente do campo elétrico total ($\nabla \vec{E}$) no núcleo:

$$E_Q = \frac{eQV_{zz}}{4I(2I-1)}(3m^2 - I(I+1))\left(1 + \frac{\eta^2}{3}\right)^{1/2} \quad (\text{A-11})$$

$$\eta = \frac{V_{xx} - V_{yy}}{V_{zz}} \quad (\text{A-12})$$

$$\nabla E = -\nabla(\nabla V) = -\begin{bmatrix} V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ V_{yx} & V_{yy} & V_{yz} \\ V_{zx} & V_{zy} & V_{zz} \end{bmatrix} \quad (\text{A-13})$$

A expressão (A-11) é obtida usando-se teoria de perturbação até primeira ordem para o hamiltoniano de interação entre o momento de quadrupolo e ∇E . O procedimento comum para obtenção dessa equação é expandir o hamiltoniano de interação elétrica inicialmente em harmônicos esféricos e posteriormente substituí-lo por operadores tensoriais para que se possa fazer uso do teorema de Wigner-Eckart diretamente. Utiliza-se normalmente a base $\{|l, m\rangle\}$.

Note-se que E_Q depende de m^2 , permanecendo portanto uma degenerescência. A origem de ∇E não nulos nos núcleos envolvidos com o efeito Mössbauer está, em geral, associada a íons vizinhos dispersos assimetricamente e as distribuições eletrônicas assimétricas em orbitais de valência parcialmente preenchidos do próprio átomo Mössbauer.

Mais uma vez, como trata-se de um campo total, todo o ambiente em torno dos núcleos envolvidos com o processo de emissão/absorção

interfere no desdobramento dos níveis. Em particular, pode-se distinguir diferentes simetrias de diferentes arranjos cristalinos analisando-se os desdobramentos devido a esta interação.

É a extrema precisão da Espectroscopia Mössbauer ($E/\Delta E \approx 10^5 eV/10^{-6}eV \approx 10^{11}$) que, permitindo a medição de interações como as três acima, a tornou extremamente relevante em diversas ciências. A seguir temos uma lista de algumas aplicações da técnica.

- Estudo do estado químico e na obtenção de dados qualitativos sobre a estrutura de moléculas biológicas (um grande número delas contém em que se observa o efeito Mössbauer, sobretudo o Fe, o que permite que a técnica possa ser usada).
- Mineralogia e análise de solos.
- Determinação de parâmetros nucleares como o spin e a simetria espacial de estados.
- Testes da Teoria da Relatividade Geral através da medida do deslocamento de frequência da radiação eletromagnética sob a ação de um campo gravitacional.
- Caracterização de materiais desde a análise química qualitativa e quantitativa até estudos fundamentais sobre a estrutura eletrônica, as ligações químicas e suas simetrias

APÊNDICE B - DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

1 - Introdução

Antes do conhecimento sobre estrutura de cristais já eram feitos estudos sobre propriedades químicas e físicas dos materiais, contudo em relação à estrutura interna não se tinha muito conhecimento. Já existiam estudos indicando que raios X eram ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1Å a 2Å. Entretanto o fenômeno de difração era conhecido com luz visível.

O físico alemão Von Laue começou a resolver o problema acerca da estrutura em 1912, propondo que cristais são compostos de átomos regularmente espaçados e raios-X são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda da ordem do espaçamento atômico. Muitos experimentos iniciais com sucesso mostraram que cristais difratam raios-X, pois além do feixe primário formavam-se marcas na placa fotográfica utilizadas para detecção da radiação. Estes experimentos provaram ao mesmo tempo a natureza ondulatória dos raios-X e a periodicidade dos átomos dentro do cristal. Esta descoberta foi de muita importância para o desenvolvimento de muitas áreas científicas.

Dois físicos ingleses, W. H. Bragg e seu filho W. L. Bragg se interessaram pelos trabalhos desenvolvidos anteriormente sobre estudo de cristais. Ainda em 1912 o filho conseguiu, com sucesso, analisar os experimentos de Laue e descrever com uma expressão mais simples que a utilizada por Von Laue. Anos mais tarde ele conseguiu resolver as estruturas de NaCl, KCl, KBr e KI. Todos tem estruturas do NaCl, que foi o primeiro a ser resolvido.

O fenômeno de difração é devido basicamente à relação entre fases de duas ou mais ondas. Estar *completamente em fase* quer dizer que num determinado instante, na mesma posição ao longo de uma direção de propagação a frente de onda AA' mostrada na figura B-1 tem mesma magnitude e direção do campo elétrico. Agora se supõe que uma das ondas da figura B-1 percorre um caminho diferente.

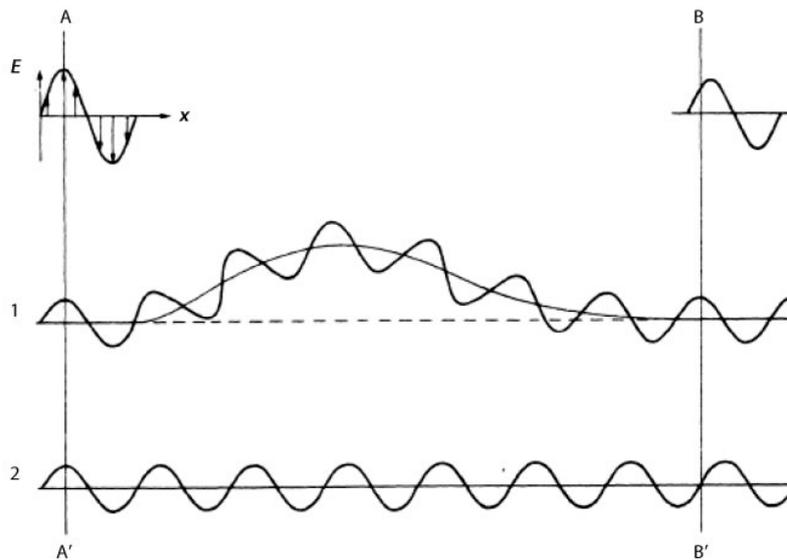


Figura B-1 - Efeito da diferença de caminho na fase de uma onda.

Agora se percebe que após percorrer diferentes caminhos as frentes de onda não estão completamente em fase, ou seja, estão *fora de fase*. Pode-se analisar a figura e verificar que a onda mais acima pode ser construída através da soma das amplitudes dos raios 1 e 2. Assim concluímos que diferença de caminho causa diferença de fase nas ondas, que por sua vez causa diferença na amplitude.

2 - Lei de Bragg

Para desenvolver a ideia de Bragg precisamos relembrar duas relações geométricas de óptica. A primeira: o feixe incidente, a direção normal ao plano de incidência e o feixe difratado são sempre coplanares. E a segunda: o ângulo entre o feixe difratado e o feixe transmitido é sempre o dobro do ângulo entre o feixe incidente com a direção normal ao plano de incidência. A difração em geral ocorre quando o comprimento de onda é da mesma ordem da distancia entre os pontos espalhadores da radiação. (Figura B-2).

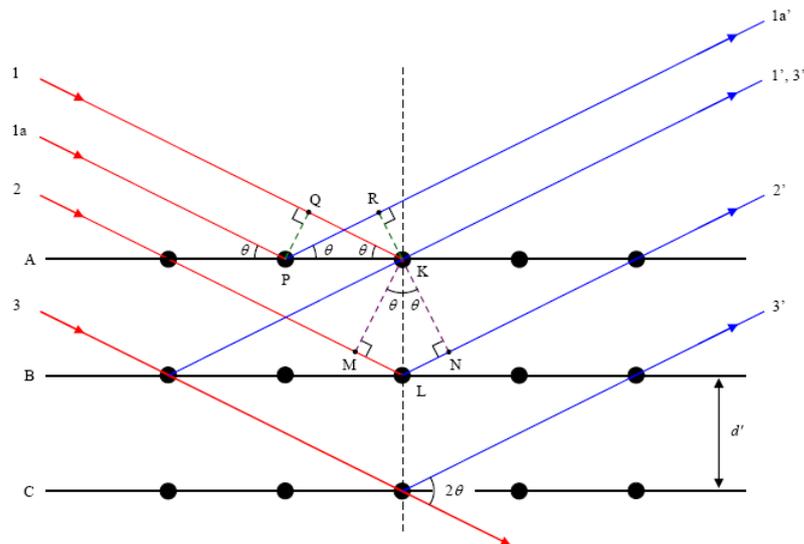


Figura B-2 - Feixes difratados numa rede bidimensional.

A diferença de caminho entre os raios incidentes 1 e 1a e os raios espalhados 1' e 1a' é dada por:

$$QK - PR = PK \cos\theta - PK \cos\theta = 0 \quad (\text{B-1})$$

Isto significa que se os raios incidentes em um plano cristalino estão em fase, os raios espalhados também estão em fase. A diferença de caminho entre os raios incidentes 1 e 2 e os raios espalhados 1' e 2' é dada por:

$$ML + LN = d' \sin\theta + d' \sin\theta = 2d' \sin\theta \quad (\text{B-2})$$

Para que a diferença de fase entre estes raios seja nula a diferença de caminho dada anteriormente deve ser igual a um múltiplo inteiro de comprimentos de onda:

$$n\lambda = 2d' \sin\theta \quad (\text{B-3})$$

A equação é conhecida por lei de Bragg. A lei de Bragg pode ser escrita como:

$$\lambda = \frac{2d'}{n} \sin\theta \quad (\text{B-4})$$

Podemos considerar a difração de qualquer ordem como a difração de primeira ordem de um conjunto de planos espaçados de $1/n$ do espaçamento original. Fazendo $d = d'/n$ podemos escrever a lei de Bragg como:

$$\lambda = 2d \sin\theta \quad (\text{B-5})$$

Existem famílias de planos dentro de um cristal com distâncias interplanares distintas. Dessa forma existem diferentes valores de θ onde ocorre a difração, assim podemos escrever a lei de Bragg como:

$$\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \quad (\text{B-6})$$

onde hkl são os índices de Miller do plano em que ocorreu a difração.

3 - O Método Rietveld

O método Rietveld é um método de refinamento de estruturas cristalinas, amplamente reconhecido como uma ferramenta poderosa para análises estruturais de quase todos os materiais cristalinos sob a forma de policristais. O método foi aplicado inicialmente para a difração de nêutrons, e posteriormente adaptado para a difração de raios-X. Nesse método, os parâmetros de uma estrutura cristalina já conhecida são ajustados para reproduzir os resultados obtidos por difratometria da amostra. Nos últimos anos o método de Rietveld tem se firmado como uma ferramenta poderosa em análise quantitativa de fases, e tem sido extensivamente utilizado na Ciência dos Materiais e suas áreas correlatas, como Geologia, Química, Física, Engenharias, etc. Este método é utilizado para obter várias informações estruturais de amostras cristalinas como, por exemplo, coordenadas atômicas, parâmetros de rede, parâmetros térmicos, estequiometria da amostra analisada, entre outras.

Esses parâmetros são refinados através do procedimento de *minimização da soma de quadrados* (método de mínimos quadrados) até obter a melhor concordância possível do padrão (difratograma) calculado com o experimental. A quantidade minimizada no refinamento é dada pela somatória das diferenças de intensidade sobre todos os pontos medidos, escrita como:

$$S_y = \sum_i w_i (y_i - y_{ci})^2 \quad (\text{B-7})$$

onde y_i é a intensidade observada para o i-ésimo ponto, y_{ci} é a intensidade calculada no i-ésimo ponto e $w_i = 1/y_i$.

A intensidade calculada pode ser escrita como:

$$y_{ci} = y_{ib} + \sum_p \sum_{k=k_i^p}^{k_c^p} G_{ik}^p I_k \quad (\text{B-8})$$

onde y_{ib} é a intensidade do background, G_{ik} é função normalizada de perfil de pico, I_k é a intensidade da k-ésima reflexão de Bragg e o sobrescrito p corresponde às possíveis fases presentes na amostra .

A intensidade de Bragg I_k é dada pela expressão:

$$I_k = SL_k |F_k|^2 P_k A \quad (\text{B-9})$$

na qual S é o fator de escala, L_k é o fator de polarização de Lorentz, A é o fator de absorção, P_k é o fator utilizado para descrever efeitos de orientação preferencial e F_k é o fator de estrutura, que é dado por:

$$F_k = \sum_{j=1}^n N_j f_j \exp \left[-\frac{B_j \text{Sen}^2 \theta}{\lambda^2} \right] \exp \left[2\pi i (hX_j + kY_j + lZ_j) \right] \quad (\text{B-10})$$

Aqui, consideramos para o j-ésimo átomo na célula unitária: X_j , Y_j e Z_j as posições atômicas, B o parâmetro térmico, f_j o fator de espalhamento e N_j o fator de ocupação.

A posição do pico de Bragg é determinada a partir das dimensões da célula unitária. A identificação da melhor função que representa o perfil de uma reflexão depende muito do equipamento e da fonte de radiação. As funções para o perfil mais frequentemente usadas para a difração de raios-X são:

Gaussiana:
$$G = \frac{\sqrt{4\ln(2)}}{H\sqrt{\pi}} \exp \left[-\frac{4\ln(2)(2\theta_i - 2\theta_k)^2}{H^2} \right] \quad (\text{B-11})$$

Lorentziana:
$$L = \frac{2}{H\pi} \frac{1}{\left[1 + \frac{4(2\theta_i - 2\theta_k)^2}{H^2} \right]} \quad (\text{B-12})$$

Pseudo-Voigt:
$$pV = \eta_p L + (1 - \eta_p) G \quad (\text{B-13})$$

Pearson VII:
$$P = \frac{2\Gamma(m)(2^{1/m} - 1)^{1/2}}{\Gamma(m - 0.5)H\sqrt{\pi}} \left[1 + 4(2^{1/m} - 1) \frac{(2\theta_i - 2\theta_k)^2}{H^2} \right]^{-m} \quad (\text{B-14})$$

Onde $\Gamma(m)$ é a função gama, η_p é o parâmetro que estabelece o peso de cada função considerada e H é a largura à meia altura (FWHM) dada por:

$$H = \sqrt{U \tan^2 \theta + V \tan \theta + W} \quad (\text{B-15})$$

e U, V e W são parâmetros refináveis.

Os parâmetros η_p e m podem ser refinados como funções de 2θ da seguinte forma:

$$\eta_p = NA + NB(2\theta) \quad (\text{B-16})$$

$$m = NA + \frac{NB}{2\theta} + \frac{NC}{(2\theta)^2} \quad (\text{B-17})$$

Novamente, NA, NB e NC são funções refináveis.

O método de Rietveld ajustará os parâmetros refináveis de forma a minimizar a quantidade S_y , e para isso, necessitamos estabelecer que quantidades serão utilizadas para estimar a concordância entre os resultados experimentais e o modelo assumido. Essas quantidades são monitoradas durante o refinamento e definidas por:

$$R - \text{perfil} = R_p = \frac{\sum |y_{io} - y_{ic}|}{y_{io}} \quad (\text{B-18})$$

$$R - \text{perfil ponderado} = R_{wp} = \sqrt{\frac{\sum w_i (y_{io} - y_{ic})^2}{\sum w_i y_{io}^2}} \quad (\text{B-19})$$

$$R - \text{esperado} = R_{exp} = \sqrt{\frac{N - P}{\sum w_i y_{io}^2}} \quad (\text{B-20})$$

$$\text{Goodness of Fit} = GOF = S = \frac{R_{wp}}{R_{exp}} \quad (\text{B-21})$$

onde N é o número de pontos experimentais e P é o número de parâmetros ajustados. O índice “o” indica observado e o “c” indica calculado.

O R_{wp} é o fator estatisticamente mais significativo dessas quantidades e reflete melhor o progresso do refinamento, pois nele é usada a técnica de minimização da soma de quadrados. O *goodness-of-fit* (GOF) deve ser equivalente a 1,0 em um refinamento perfeito, mas na prática valores inferiores a cinco refletem um refinamento otimizado.

APÊNDICE C - RADIAÇÃO SÍNCROTRON

A radiação síncrotron é utilizada como fonte de raios-X para diversas técnicas espectroscópicas. Nesse trabalho, algumas medidas foram feitas com uso da radiação síncrotron, a qual é emitida por partículas carregadas relativisticamente (utiliza-se elétrons ou pósitrons) ao percorrerem um caminho curvo. A radiação eletromagnética produzida possui um amplo espectro de frequências.

As partículas são inicialmente aceleradas em um acelerador linear ou cíclico e injetadas no anel de armazenamento. No anel, que deve ser mantido em ultra-alto vácuo (10^{-9} – 10^{-10} Torr), os elétrons (ou pósitrons) de alta energia são defletidos a través da aplicação de campos magnéticos em dipolos e, conseqüentemente, há a produção da radiação síncrotron. A radiação produzida é emitida tangencialmente em um cone angular estreito (no caso de partículas relativistas). As partículas são focadas a través do uso de quadropolos magnéticos (ou dispositivos mais sofisticados com sêxtuplos magnéticos).

Outra forma de produzir radiação síncrotron é através de dispositivos de inserção (*wiggler* ou onduladores). Esses dispositivos consistem fundamentalmente de vários dipolos magnéticos posicionados em paralelo com polaridades opostas, e são instalados nas seções retas do anel de armazenamento. A perda de energia no anel de armazenamento é inevitável, seja devido às interações partícula-partícula e partícula-moléculas do gás, ou à própria produção da radiação síncrotron. Uma cavidade de radiofrequência é colocada no anel de armazenamento para aumentar a energia das partículas através da aplicação de um campo eletromagnético oscilatório. Com isso, consegue-se manter a corrente com uma intensidade razoável durante um tempo tipicamente da ordem de ~15 h (dependendo do anel síncrotron). Em alguns anéis mais sofisticados, que utilizam o método *top-up*, mantém-se a corrente com a mesma intensidade ao longo do tempo. A figura C-1 ilustra os principais componentes de uma fonte de luz síncrotron.

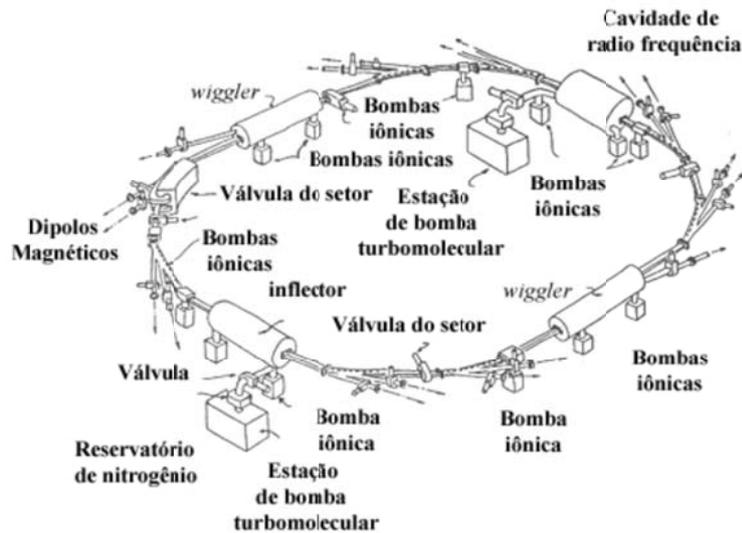


Figura C-1 - Representação esquemática simplificada de uma fonte de luz síncrotron.

Do amplo espectro gerado, as regiões espectrais são separadas em linhas de luz. Tipicamente, para uma linha de raios-X, o feixe de fótons proveniente do anel de armazenamento passa por espelhos e pelo monocromador. O monocromador é um cristal onde um feixe policromático incidente é monocromatizado segundo a lei de Bragg. A estação experimental consiste de uma câmara de ultra alto vácuo onde a amostra é inserida. A figura C-2 mostra a representação esquemática de linha de luz de raios-X do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS).

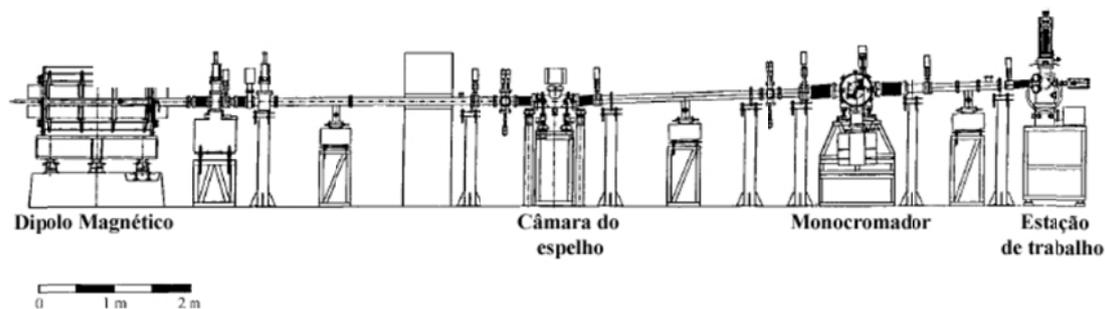


Figura C-2 - Representação esquemática dos principais componentes da linha de luz de raios-X do LNLS.

A radiação síncrotron apresenta as seguintes vantagens:

- 1) Alto brilho: a intensidade por unidade de ângulo sólido da radiação síncrotron é centenas de milhares de vezes maior que a produzida por tubos de raios-X convencionais para um mesmo intervalo em comprimento de onda $\Delta\lambda$.

- 2) Largo espectro de energia: radiação obtida desde a faixa do infravermelho até a de raios-X duros.
- 3) Polarização: a luz síncrotron pode ser manipulada para tornar-se linearmente, circularmente ou elipticamente polarizada.
- 4) Pulsos extremamente curtos: tipicamente são gerados pulsos de duração menores que 1 ns (em alguns casos pode chegar a ps), o que possibilita estudos com resolução temporal (limitado pela incerteza na frequência $\Delta\nu$).

1 - Linha XRD2

A linha de luz XRD2 é usada para a física de estado sólido, química e biologia. Suas aplicações são na caracterização cristalográfica de monocristais a baixas temperaturas (2K-400K), magnetismo microscópico, caracterização de filmes finos, pontos quânticos e heteroestruturas.

Vários tipos de medições podem ser realizadas aqui, em amostras monocristalinas ou policristalinas, filmes finos, usando raios-X. A linha oferece também recursos para a realização de medidas por difração em incidência rasante, espalhamento de raios-X a baixos ângulos.



Figura C-3 - A linha XRD2

A linha XRD2 é equipada com um difratômetro Huber. O difratômetro possui um goniômetro no braço 2θ para as medidas que precisaram de um analisador de Cristal (Si, Ge, Grafito). Os fornos e os criostatos das linhas de luz podem ser anexados aos difratômetros para medidas in situ.



Figura C-4 - Difratômetro Huber da linha XRD2.

A linha XRD2 tem um polarímetro para estudos de polarização do feixe difratado. O Polarímetro é colocado no braço 2θ do difratômetro, com um analisador adequado para a energia utilizada.

APÊNDICE D - PETROGRAFIA

A petrografia é um ramo da petrologia que tem por objetivo a descrição macro, meso e microscópica de rochas, considerando as suas relações texturais, estruturais e mineralógicas. A Análise mesoscópica é complementada por análise microscopia de seção delgada por luz transmitida.

As análises petrográficas são apresentadas na forma de um certificado contendo a porcentagem dos minerais (estimativa visual), descrição meso e microscópica, aspectos texturais e estruturais, grau de alteração, imagens micrográficas, tipo e nome da rocha.

1 - O Microscópio Petrográfico

Dois tipos básicos de microscopia óptica são empregados:

Luz Transmitida: utilizada para a análise de minerais transparentes, onde a luz atravessa o objeto a ser estudado e atinge a objetiva;

Luz Refletida: utilizada para a análise de minerais opacos, sendo que, a luz incide mineral em sua superfície e é refletida em direção a objetiva, conforme mostra o esquema da figura D-1.

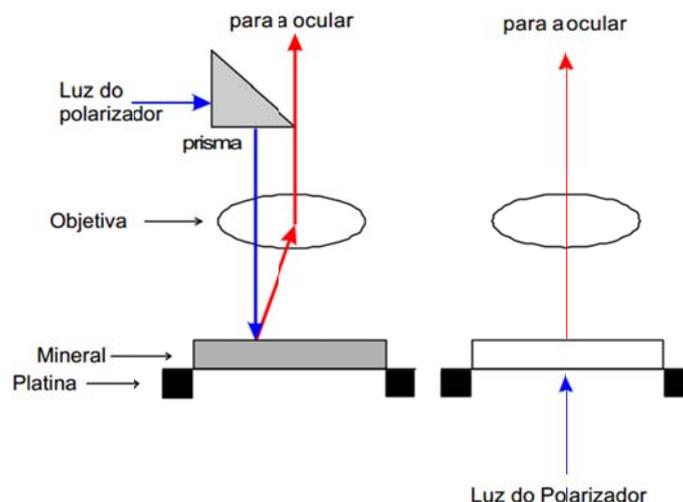


Figura D-1 - Diagramas esquemáticos de sistemas ópticos de luz refletida e transmitida. No primeiro caso o mineral deverá ser opaco e ter uma boa superfície refletora, enquanto que no segundo, ser transparente.

A análise de minerais transparentes através de microscopia óptica de transmissão, e feita através de lâminas delgadas obtidas através de uma seção extremamente fina de uma rocha, solo ou mineral.

Um microscópio ordinário é constituído fundamentalmente pela associação de duas lentes convergentes denominadas: objetiva e ocular. Estas duas lentes são montadas em posições fixas nos extremos opostos de um tubo de metal de comprimento l , conforme mostra a Figura D-2.

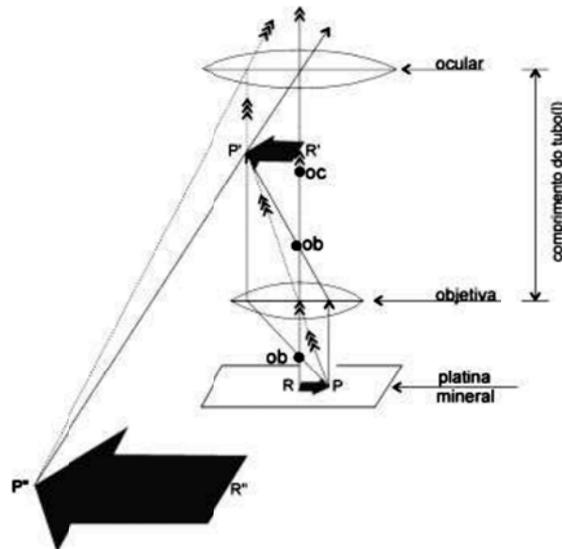


Figura D-2 - Representação esquemática de um microscópio ordinário onde: ob =distância focal da objetiva, oc =distância focal da ocular, RP =mineral disposto sobre a lâmina e platina do microscópio, $R'P'$ =imagem real aumentada do mineral produzida pela objetiva, $R''P''$ =imagem virtual aumentada do mineral produzida pela ocular.

Basicamente, a objetiva forma uma imagem real aumentada do mineral (PR) que está sendo examinado, o qual se posiciona a uma distância menor do que a distância focal da ocular (oc). Assim, a imagem real obtida pela objetiva ($P'R'$) é aumentada quando vista através da ocular, como uma imagem virtual ($P''R''$).

O microscópio petrográfico nada mais é que um microscópio ordinário ao qual são introduzidos dois polarizadores posicionados entre o mineral a ser examinado. As diversas partes constituintes de um microscópio petrográfico podem ser agrupadas em: sistema óptico: ocular, lente de Amici-Bertrand, analisador, objetiva, condensador móvel, diafragma íris, condensador fixo, filtro azul e polarizador e sistema mecânico de suporte: ou tubo, Braço, Revólver (ou sistema de sustentação das objetivas), Platina, Cremalheira macro e micrométrica de movimentação vertical da platina, e base.

1.1. Objetivas

A objetiva é uma lente ou uma associação de lentes que fornece uma imagem real aumentada do objeto observado. Achase localizada na extremidade do

tubo o canhão. Para facilidade de mudança de uma objetiva para outra, a maioria dos microscópios são dotados de um dispositivo denominado revólver ou porta-objetivas.

1.2. Oculares

As oculares são associações de lentes que permitem conservar a imagem real do objeto fornecido pela objetiva.

As lentes da ocular acham-se fixas em um tubo metálico e aquela mais próxima do olho do observador recebe o nome de lente de olho e a que recebe o raio de luz proveniente da objetiva é chamada de coletora.

As oculares podem ser positivas ou negativas. Nas positivas o foco do sistema está antes da lente coletora e nas negativas, o foco se acha depois da lente coletora, conforme pode ser observado nos esquemas da figura D-3.

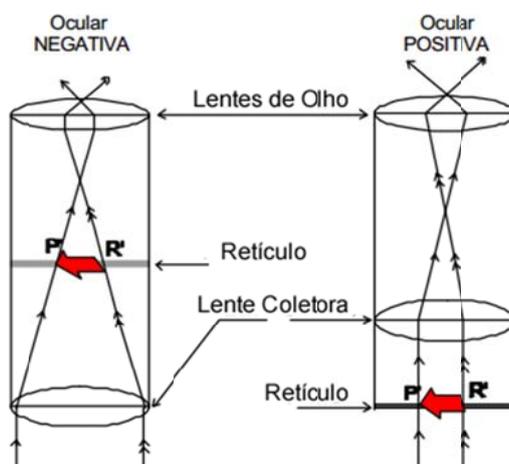


Figura D-3 - Tipos de oculares, positivas y negativas, empregadas em mineralogia óptica.

De maneira geral, podemos reconhecer as oculares entre si, pois o retículo das positivas está disposto antes da lente coletora enquanto que nas negativas entre as lentes de olho e coletora. Ainda, as oculares positivas têm comportamento de uma “lupa de mão”, ou seja, é possível focalizar um objeto através dela, o que não é possível com o emprego de oculares negativas.

Em ambas as oculares, existe um diafragma fixo colocado precisamente no plano que contém a imagem real do objeto em análise pela objetiva. A função do diafragma é de limitar o campo de visão, e ainda possui gravado em sua superfície o retículo que pode ser 2 linhas, uma N-S e outra E-W; ou uma escala micrométrica ; ou ainda uma escala quadriculada, conforme mostra a Figura D-4.

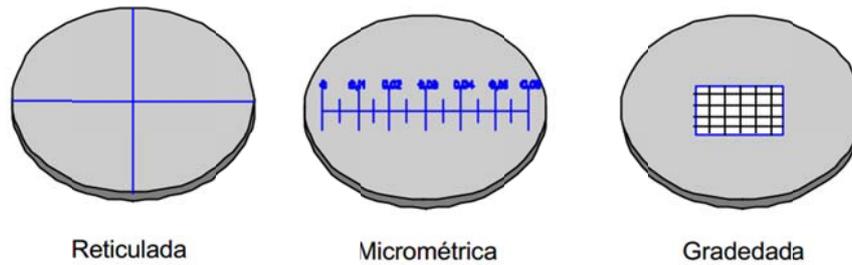


Figura D-4 - Principais tipos de retículos empregados em oculares para estudos petrográficos.

1.3. Polarizador e Analisador

O microscópio petrográfico é dotado de dois polarizadores, ou nicóis, designados de polarizador inferior (ou simplesmente polarizador) e o outro, superior, denominado analisador. Nos microscópios modernos, estes polarizadores são constituídos de placas de polaroides, que são compostos químicos orgânicos que quando construídos, são estirados segundo certa direção. Assim a luz natural não polarizada quando incide no polarizador, todas as suas direções de vibração, com exceção daquela paralela a direção de deformação do polaroide, serão absorvidas por ele.

O polarizador inferior está localizado acima da fonte de luz e abaixo do mineral a ser estudado. Sua função é fornecer luz polarizada, que com o movimento de rotação da platina do microscópio pode incidir em diferentes direções na superfície do mineral.

O analisador, está disposto acima do mineral sob análise e abaixo da ocular. Está orientado de forma que sua direção de polarização seja perpendicular ao do polarizador inferior.

As direções de vibração dos polarizadores, formam um ângulo de 90° entre si e deverão ser paralelas àquelas dos retículos da ocular como mostra, por exemplo, a Figura D-5.

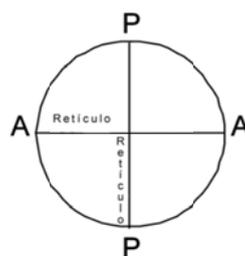


Figura D-5 - Representação do paralelismo entre os retículos da ocular com as direções de vibração do polarizador (P-P) e analisador (A-A).

Assim, toda vez que uma substância isotrópica é colocada entre dois polarizadores cruzados, não haverá passagem de luz para o observador. Isto é facilmente observado ao microscópio petrográfico, quando cruzamos os nicóis sem haver nenhum mineral na platina. Como o ar é uma substância isotrópica, a luz proveniente do polarizador chega direta ao analisador, sem sofrer desvio. Como sua direção de polarização é perpendicular ao do analisador, esta será totalmente absorvida por ele, sem haver nenhuma transmissão de luz.

1.4. Platina

A platina do microscópio petrográfico é uma placa metálica, que sustenta o preparado em análise. Além disso, a platina tem um movimento, de rotação e é graduada que associada aos retículos da ocular, permite efetuar medidas de ângulos entre direções morfológicas e ópticas dos minerais em estudo.

1.5. Lente de Amici-Bertand

É empregada apenas no sistema conoscópico e tem como finalidade trazer a figura de interferência para o plano focal da ocular. Acha-se localizada entre a ocular e o analisador e pode ser introduzida ou retirada do sistema óptico.

1.6. Condensadores

Existem dois condensadores no microscópio petrográfico, um fixo, que está localizado entre o polarizador e a platina do microscópio, o outro móvel, que se encontra sobre o condensador fixo e imediatamente sob a platina.

Os condensadores tem a finalidade de promoverem uma maior convergência dos raios de luz sob o objeto em análise. O condensador móvel tem como função especial, de promover uma alta convergência dos raios de luz em praticamente um ponto sobre o objeto em análise de tal forma que os raios de luz que partem do objeto para a objetiva sejam divergentes. O condensador móvel só deve ser usado quando utiliza-se se objetivas de médio a grande aumento linear e é peça fundamental no sistema conoscópico.

1.7. Diafragma Iris

É um dispositivo que limita a quantidade de luz que penetra no microscópio e se localiza geralmente sobre o condensador fixo. A diminuição do feixe de luz permite realçar as feições morfológicas dos minerais como suas bordas, traços de fratura, rugosidade das superfícies, presença de inclusões, etc.

1.8. Filtros

Os filtros, geralmente, são placas de vidro coloridos e tem como finalidade, absorver certas radiações indesejáveis da luz utilizada. Como consequência, a utilização apropriada de um filtro que permite aumentar o contraste de imagens e melhorar a resolução.

O filtro mais empregado no microscópio petrográfico é o azul que torna a luz amarelada da lâmpada de Tungstênio bem próxima da luz branca natural.