Capítulo 8. A costura riaciana: plataforma, colisão e Evento Sereno, ca. 2,55–1,96 Ga

Do rifte precursor de Buritirama à sutura Carajás-Bacajá e à última compressão do interior do continente

Modelo de trabalho

O magmatismo extensional de ca. 2,55 Ga antecedeu a margem setentrional de Carajás. A plataforma manganesífera de Buritirama amadureceu bem mais tarde, no Riaciano, e foi invertida durante a colisão entre Carajás e Bacajá, entre ca. 2,10 e 2,05 Ga. O Evento Sereno, entre ca. 2,01 e 1,96 Ga, reativou a crosta já soldada. Novolândia como fragmento devolvido da margem, Paranapanema como motor remoto do Sereno e o colapso riaciano como consolidador da gramática estrutural são hipóteses deste livro; a estratigrafia, as idades e as direções que elas encadeiam são medidas.

Buritirama · manganês · Riaciano · Bacajá · Transamazônico · granulito · Vila Santa Fé-Rio Preto · Novolândia · Evento Sereno · gramática

estrutural · Atlântica · ca. 2,55–1,96 Ga

Resumo

A margem norte de Carajás nasceu em dois tempos, e separar os dois é o primeiro trabalho deste capítulo. O Granito Buritirama, cristalizado em torno de 2,55 Ga, registra a fase extensional precursora que o capítulo 6 apresentou. A sucessão sedimentar com manganês da Formação Buritirama pertence a uma plataforma bem mais jovem, depositada entre ca. 2,18 e 2,06 Ga. Datar o granito não data a bacia que hoje o recobre.

A plataforma acompanha a aproximação do domínio Bacajá, um bloco com arcos vulcânicos que vinha do outro lado de um oceano. Quartzitos, rochas carbonáticas e mármores registram redução do aporte de areia e sedimentação química marinha. O manganês se concentrou quando águas com oxigênio alcançaram um reservatório abastecido pelo metal, numa faixa de idade comparável à de outros depósitos do mesmo ciclo no Brasil e na África Ocidental. A colisão inverteu a sucessão, empilhou-a em fatias com transporte para sudoeste e expôs, em Vila Santa Fé-Rio Preto e em Novolândia, níveis profundos da costura.

Entre ca. 2,10 e 2,05 Ga, rochas metamorfizadas em alta temperatura e magmas secos registram o auge térmico da colisão. Entre ca. 2,01 e 1,96 Ga, o Evento Sereno reativa o interior já soldado, com deformação em baixa temperatura e transporte predominante para noroeste. O capítulo distingue o que a geologia fixa, o que os modelos publicados organizam e o que o livro propõe. Novolândia como fragmento de margem retrabalhado, Paranapanema como possível motor remoto do Sereno, e a herança estrutural desse intervalo como parte da memória mecânica que a plataforma usará para sempre.

1. Dois relógios

Uma fundação antiga pode sustentar uma casa muito mais jovem. Datar o concreto da fundação informa quando o suporte ficou pronto, não quando as paredes foram erguidas. Em Buritirama, a fundação e a casa têm quatrocentos milhões de anos de diferença, e durante muito tempo a idade de uma foi tomada pela da outra.

O primeiro relógio está no embasamento. O Granito Buritirama registra magmatismo extensional em ca. 2,55 Ga e marca a preparação tectônica da borda norte de Carajás, o rifte precursor do capítulo 6. Ele pertence à abertura de uma margem, mas sua idade não data os sedimentos com manganês. Entre o precursor magmático e a plataforma preservada existe um intervalo longo, preenchido por erosão, subsidência, omissão de camadas e reorganização da bacia.

O segundo relógio está nos zircões detríticos e na correlação regional, lido pela regra da moeda no cofre. A Formação Buritirama representa uma plataforma riaciana, com deposição situada aproximadamente entre 2,18 e 2,06 Ga (Salgado et al., 2019b, 2021). A população jovem dos sedimentos registra fontes paleoproterozoicas ligadas ao sistema Bacajá; as populações arqueanas conservam a contribuição do bloco Carajás e de terrenos retrabalhados. A mistura mostra uma margem recebendo material dos dois lados durante a aproximação.

Essa separação muda a narrativa. A plataforma não passou trezentos milhões de anos morrendo de fome desde 2,55 Ga. O rifte preparou a borda; a bacia com manganês amadureceu perto da colisão. O hiato continua geologicamente expressivo, mas deixa de ser preenchido por uma continuidade que a rocha não demonstra.

2. O Riaciano e o ciclo Transamazônico

Convém situar as palavras no tempo. O Paleoproterozoico, a era que vai de 2,5 a 1,6 Ga, se divide em quatro períodos. O Sideriano, de 2,5 a 2,3 Ga, é o do pulso terminal do capítulo 6 e do Grande Evento de

Oxidação. O Riaciano, de 2,3 a 2,05 Ga, é o deste capítulo. O Orosiriano, de 2,05 a 1,8 Ga, recebe o Evento Sereno e, adiante, o terceiro regime mineral do capítulo 9. O Estateriano, de 1,8 a 1,6 Ga, é o da fragmentação que o capítulo 10 acompanha.

O Riaciano foi, no mundo inteiro, uma época de colisões. Os blocos arqueanos que haviam sobrevivido aos capítulos anteriores se aproximaram, fecharam os oceanos entre si e se soldaram em continentes maiores. Na América do Sul, esse ciclo de arcos, colisões e metamorfismo entre ca. 2,2 e 1,95 Ga recebe o nome de Transamazônico. Na África Ocidental, o mesmo ciclo se chama Birimiano, e a correlação entre os dois é uma das bases da reconstrução que o capítulo 10 apresenta sob o nome de Atlântica (Grenholm et al., 2019).

Ao norte de Carajás, do outro lado de um oceano cuja largura não se conhece, estava o domínio Bacajá. Ele registra magmatismo de arco e retrabalhamento de crosta antiga durante o Riaciano, com granitoides entre ca. 2,22 e 2,08 Ga que acompanham uma história prolongada de convergência, acresção e fusão de crosta arqueana (Vasquez e Rosa-Costa, 2008). Nesse arranjo, a placa que mergulhava era a do oceano entre os dois blocos, e o arco vulcânico crescia em Bacajá. A plataforma de Buritirama ocupava a placa inferior, na borda de Carajás, recebendo sedimento enquanto o arco crescia do outro lado da água. Era a margem passiva do capítulo 3, com sua praia, à espera de que a convergência chegasse.

3. A plataforma manganesífera

A Formação Buritirama forma uma faixa de cerca de quarenta quilômetros. Sua sucessão reúne quartzitos, xistos de mica e quartzo, rochas de carbonato e silicato e mármores ricos em kutnohorita, um carbonato de cálcio e manganês. Esse carbonato é o protominério. Ele foi depois metamorfizado, deformado e profundamente alterado pelo intemperismo tropical, que gerou parte importante do minério de óxido hoje explorado (Salgado et al., 2019a).

A passagem de unidades de areia para intervalos carbonáticos registra uma plataforma em que a diluição por sedimento terrígeno diminuiu, isto é, uma margem que foi ficando mais distante do relevo e mais entregue à química do mar. O que essa química exige para depositar manganês é mais do que o ferro exigia, e a diferença é uma escada de oxidação. Ferro e manganês viajam dissolvidos nas mesmas águas sem oxigênio, ambos na forma de íons com duas cargas. Mas o ferro é oxidado e precipitado com muito pouco oxigênio, ou com nenhum, pela fotoferrotrofia dos capítulos 3 e 7. O manganês resiste. Ele só é oxidado em águas com oxigênio de verdade, e por isso continua em solução depois que o ferro já caiu. Um depósito de manganês é um degrau acima de um BIF na escada do oxigênio. A plataforma de Buritirama registra um mar que já havia subido esse degrau, duzentos milhões de anos depois do GOE.

Os elementos terras raras acrescentam detalhes legíveis. A razão entre ítrio e hólmio, dois elementos que a água do mar separa e as rochas não, sustenta que a água era marinha. O cério, que entre as terras raras é o único oxidado e removido em água com oxigênio, deixa uma falta característica no padrão, a anomalia negativa que marca condições oxidantes. O európio, ao contrário, é enriquecido em fluidos hidrotermais quentes, e sua anomalia positiva sugere que uma parte do manganês chegou de fontes hidrotermais distantes. A assinatura combinada diz que o metal foi transportado em condições redutoras e oxidado para precipitar, ou entrar em carbonatos e óxidos, num mar aberto à atmosfera do Riaciano (Salgado et al., 2021).

A relação com o Grande Evento de Oxidação é, portanto, temporal e mecanicamente plausível. Ela não transforma cada camada de manganês num medidor direto do oxigênio atmosférico. Hidrotermalismo distante, produtividade, matéria orgânica, profundidade e circulação controlam o ponto de deposição. O depósito nasceu da soma entre atmosfera, oceano, bacia e fonte.

A idade riaciana aproxima Buritirama dos depósitos de manganês do sistema Transamazônico-Birimiano no Brasil, como os do Amapá e de Minas Gerais, e na África Ocidental, como os do Gana e da Costa do

Marfim. Essa correlação por idade é publicada e fornece uma linha paleogeográfica importante. A posição exata dos blocos, a continuidade das plataformas e os caminhos de circulação do oceano pertencem ao problema maior dos supercontinentes, tratado nos capítulos 10 e 12.

4. A aproximação de Bacajá

Antes do encurtamento final, Carajás registra atividade térmica e de fluidos entre ca. 2,20 e 2,15 Ga. Minerais hidrotermais dos depósitos neoarqueanos foram recristalizados ou reequilibrados nessa janela. A relação no tempo com a convergência faz desse pulso uma resposta plausível da margem inferior à flexura, à circulação de fluidos e ao aquecimento que uma placa mergulhante induz à sua frente. A geometria e o mecanismo ainda precisam ser demonstrados em escala regional. Idade semelhante, sozinha, não identifica a posição da placa nem o agente térmico.

A colisão torna-se inequívoca na deformação de Buritirama. A sucessão foi dobrada, metamorfizada e empilhada em escamas, fatias de rocha limitadas por falhas inclinadas que se sobrepõem como telhas num telhado, com transporte geral de nordeste para sudoeste. Quando uma pilha de sedimentos é empurrada e se parte em fatias que cavalgam umas sobre as outras, a direção em que as fatias avançam se chama vergência, e ela aponta para onde o esforço estava indo. Em Buritirama, a vergência leva rochas da zona de contato sobre a margem norte de Carajás. O antigo local de sedimentação transforma-se em frente de cavalgamento. A praia virou cordilheira.

5. A raiz exposta

Toda colisão tem uma raiz, como o capítulo 4 mostrou para o Mesoarqueano, e em geral a raiz fica enterrada. A costura entre Carajás e Bacajá é incomum porque parte dela foi erguida e exposta pela erosão, e dá para caminhar sobre rochas que estiveram a trinta quilômetros de profundidade.

Essas rochas têm nomes que convém abrir. Granulito é uma rocha metamorfizada em temperatura tão alta que perdeu quase toda a água de seus minerais; é o que resta na base de uma crosta espessada e aquecida. Migmatito é uma rocha que começou a fundir, com veios claros de fundido separados de porções escuras que não fundiram, o migmatito do epílogo deste livro. Charnockito e enderbito são granitos e tonalitos secos, com piroxênio em vez de mica, que cristalizam de magmas formados nessas condições. Juntos, eles são o termômetro e o barômetro de uma colisão.

A associação Vila Santa Fé-Rio Preto expõe essa crosta profunda. Granulitos máficos e félsicos registram condições próximas de nove a dez quilobares e de 760 a 800 graus. Cada quilobar corresponde a cerca de três quilômetros e meio de rocha por cima, de modo que esses números falam de trinta a trinta e cinco quilômetros de profundidade, o dobro da espessura de uma crosta normal, o que confirma o espessamento da colisão. Crescimento de fundido, migmatização e magmatismo charnockítico a enderbítico concentram-se entre ca. 2,10 e 2,06 Ga. A descompressão e a reequilibração com água acompanham a subida da raiz depois do pico (Tavares et al., 2018).

Novolândia acrescenta uma história mais antiga e mais complexa. Dados recentes reconhecem protólitos e fontes entre o Paleoarqueano e o Paleoproterozoico, forte retrabalhamento de crosta antiga e metamorfismo prolongado entre ca. 2,16 e 2,04 Ga, seguido por sobreposição em 1,92 Ga (Neri et al., 2026). Zircões detríticos alcançam ca. 3,3 Ga; componentes arqueanos em torno de 2,74 Ga convivem com protólitos paleoproterozoicos. O cinturão é um arquivo composto da zona de colisão.

Este livro propõe que parte de Novolândia derive da margem setentrional de Carajás, destacada durante a abertura do capítulo 6 e devolvida pelo fechamento. A herança arqueana e a posição estrutural sustentam a possibilidade; os zircões de 3,3 e 2,74 Ga são, afinal, barras do código de Carajás. Os novos dados também impedem uma identificação simples, porque há acresção, magmatismo e metamorfismo paleoproterozoicos misturados ao substrato antigo. A formulação segura é

fragmento de margem retrabalhado e incorporado à sutura. Demonstrar origem exclusivamente carajaense exigiria correlações isotópicas, estratigráficas e geofísicas mais restritivas.

6. O Evento Sereno

A deformação transamazônica se concentra entre ca. 2,10 e 2,05 Ga. Depois do metamorfismo de alta temperatura e do empilhamento, a crosta esfria, sobe e muda de regime. Entre ca. 2,01 e 1,96 Ga, uma nova deformação afeta o interior de Carajás. O Evento Sereno dobra unidades anteriores, reativa zonas de cisalhamento e produz tramas em condições mais rasas, com transporte predominante para noroeste (Tavares et al., 2018).

A diferença de idade, de profundidade e de direção justifica tratá-lo como evento próprio. O Sereno não é o estágio tardio da colisão entre Carajás e Bacajá. Ele atua sobre uma placa já amalgamada, cinquenta milhões de anos depois do auge, a partir de outra direção e sem o magmatismo volumoso que uma margem ativa local exigiria. Seu caráter intracontinental, deformação dentro de um continente e não em sua borda, é a interpretação que melhor organiza o registro.

Deformação assim tem análogo vivo. A colisão da Índia com a Ásia levanta o Himalaia na borda, mas também reativou, a dois mil quilômetros da sutura, as montanhas do Tian Shan, no interior da Ásia Central, onde falhas antigas voltaram a se mover porque o esforço da colisão atravessou o continente inteiro (Molnar e Tapponnier, 1975). Um continente rígido transmite esforço a longa distância, e esforço transmitido escolhe as estruturas antigas para se expressar.

O vetor de transporte permite perguntar de onde veio o esforço. Este livro propõe uma colisão distante na margem meridional, possivelmente associada ao bloco Paranapanema, um pedaço de crosta antiga hoje inteiramente coberto pelos sedimentos e basaltos da Bacia do Paraná, conhecido apenas por geofísica e por poucos furos. Trata-se de hipótese de paternidade, não de identificação demonstrada. O

teste exige continuidade geofísica sob a cobertura, idades compatíveis nos terrenos do sul e um campo de deformação capaz de transmitir esforço até Carajás.

Eventos próximos de 2,0 Ga aparecem também no Gurupi, no Amapá e no Quadrilátero Ferrífero, acompanhados em alguns casos por fluidos e remobilização de ouro (Brando Soares et al., 2021). A sincronia sugere uma plataforma continental submetida a reorganização ampla. Direções semelhantes reforçam a comparação, mas podem nascer de estruturas herdadas independentes. Por isso o capítulo registra uma correlação a testar, sem reunir todos os afloramentos numa única frente de deformação.

7. Colapso e memória estrutural

Depois do encurtamento, descompressão, resfriamento e subida da crosta reorganizam sua permeabilidade. Uma cordilheira espessa demais não se sustenta; ela se espalha sob o próprio peso, como o Alborán do capítulo 4, e esse espalhamento se chama colapso. Falhas antigas são reabertas; novas famílias aproveitam as anisotropias que a colisão deixou. A bacia de Águas Claras recobre em discordância parte do edifício, isto é, assenta sobre uma superfície de erosão que corta as rochas dobradas de baixo, e inclui um intervalo marinho basal preservado no Azul e em Serra Pelada. Sua idade e sua relação detalhada com cada estágio do colapso ainda exigem cautela, mas a discordância fixa uma mudança de regime.

Aqui entra uma observação que o resto do livro vai usar sem parar, e que por isso merece ser dita com cuidado. Quatro famílias de direções aparecem repetidamente no mapa de Carajás. Uma de leste-nordeste, uma de oeste-noroeste, uma de norte-nordeste e uma de norte-noroeste. Elas controlam segmentos de falhas, diques, bacias e mineralizações de idades muito diferentes, de modo que um dique de 535 Ma pode correr paralelo a uma falha de 2,7 Ga. A colisão e o relaxamento riaciano-orosiriano certamente reforçaram parte dessa rede. Sua origem integral nesse episódio seria uma afirmação maior

que a evidência. Algumas direções podem ser arqueanas, herdadas da sutura do capítulo 4; outras foram geradas ou reorientadas depois.

Chamo esse conjunto de gramática estrutural, e a palavra foi escolhida com intenção. Uma gramática é um conjunto herdado de regras que cada falante usa sem ter inventado e que, ao usar, confirma e modifica um pouco. Cada evento tectônico escolhe entre as direções disponíveis, cruza famílias anteriores e acrescenta inflexões. O mapa conserva sintaxe porque a crosta tem memória, não porque um único colapso escreveu todas as letras. As idades são quando a plataforma fala; as direções são a língua em que ela fala. Estatística de lineamentos datados, relações de corte e geofísica da crosta podem separar herança, criação e reativação, e os capítulos 10 e 11 dependem dessa separação.

8. Atlântica à vista

Ao fim do capítulo, Carajás integra um continente paleoproterozoico. Bacajá está soldado ao norte; a margem meridional participa de uma arquitetura ainda parcialmente oculta sob a Bacia do Paraná; a crosta reúne suturas e corredores capazes de transmitir esforço a longa distância, como o Sereno acabou de demonstrar. Esse continente, montado pelas colisões transamazônicas e birimianas em torno de 2,0 Ga, recebeu o nome de Atlântica, e o capítulo 10 o acompanha até sua fragmentação. É uma hipótese paleogeográfica robusta em escala continental, embora seus limites e a posição relativa dos blocos continuem em refinamento.

Antes de acompanhar sua distensão, resta observar a última grande reativação mineral de Carajás, que o capítulo 9 conta. Ela vai usar exatamente as estruturas que este capítulo deixou prontas.

9. Níveis de confiança

Pertencem ao registro observado a estratigrafia e a estrutura em escamas de Buritirama; a idade riaciana e a proveniência mista da pla-

taforma; sua mineralogia com manganês e sua assinatura marinha; o magmatismo de Bacajá; as condições de granulito e as idades transamazônicas de Vila Santa Fé-Rio Preto; o arquivo policíclico de Novolândia; a idade, a direção e o nível crustal do Evento Sereno; a discordância de Águas Claras; e a recorrência das quatro famílias estruturais.

São modelos sustentados pela literatura a plataforma de Buritirama na borda de Carajás, sua inversão durante a amalgamação entre Carajás e Bacajá, o caráter colisional do metamorfismo de alto grau, a natureza intracontinental do Sereno e a escada de oxidação que separa o manganês do ferro. A correlação por idade dos depósitos de manganês do sistema Transamazônico-Birimiano fornece contexto, mas ainda admite reconstruções paleogeográficas diferentes.

São hipóteses deste livro a relação genética entre o rifte de 2,55 Ga e a plataforma riaciana posterior; a participação de um fragmento da margem de Carajás em Novolândia; Paranapanema como motor remoto do Sereno; a equivalência do Sereno com reativações de 2,0 Ga em outros crátons; e o papel do colapso paleoproterozoico na consolidação da gramática estrutural. O texto as mantém porque são testáveis e porque organizam o próximo ciclo sem se disfarçarem de evidência.

Conclusão

Entre 2,55 e 1,96 Ga, a borda norte de Carajás foi aberta, afogada, soldada e apertada de novo. O granito de 2,55 Ga preparou a margem; a plataforma riaciana a cobriu de carbonato e manganês quando o mar já tinha oxigênio para isso; a chegada de Bacajá a dobrou, empilhou e enterrou a trinta quilômetros; a subida da raiz a expôs; e o Evento Sereno, vindo de longe, mostrou que o continente recém-montado já transmitia esforço como uma peça só.

O que ficou foi um continente e uma gramática. Atlântica, com Carajás em seu interior, e uma rede de quatro direções que todos os eventos seguintes vão falar. O capítulo 9 mostra a primeira frase nessa língua, dita por um magmatismo que reaqueceu a crosta fraturada sob águas

novas.

Referências

Brando Soares, M.; Selby, D.; Robb, L.; Corrêa Neto, A. V. (2021). Minas Orogeny: implications for gold mineralization in the Quadrilátero Ferrífero area, Brazil. Economic Geology, 116, 1455–1466. https://doi.org/10.5382/econgeo.4830

Grenholm, M.; Jessell, M.; Thébaud, N. (2019). A geodynamic model for the Paleoproterozoic (ca. 2.27–1.96 Ga) Birimian Orogen of the southern West African Craton. Earth-Science Reviews, 192, 138–193.

Molnar, P.; Tapponnier, P. (1975). Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. Science, 189, 419–426. https://doi.org/10.1126/science.189.42

Neri, A. S. S.; Dantas, E. L.; Peixoto, E. I. N.; Fuck, R. A.; Gonçalves, G. O. (2026). Paleoarchean to Paleoproterozoic record of sedimentation, magmatism and metamorphism documented in granulites from the Bacajá Domain, Amazonian Craton. Journal of the Geological Society, 183, jgs2026-016. https://doi.org/10.1144/jgs2026-016

Salgado, S. S. et al. (2021). Metallogenetic Mn-model of the Rhyacian-aged Buritirama Formation, Carajás Domain (Amazon Craton). Ore Geology Reviews.

Salgado, S. S.; Caxito, F. A.; Figueiredo e Silva, R. C.; Lana, C. (2019b). Provenance of the Buritirama Formation reveals the Paleoproterozoic assembly of the Bacajá and Carajás blocks (Amazon Craton) and the chronocorrelation of Mn-deposits in the Transamazonian/Birimian system of northern Brazil/West Africa. Journal of South American Earth Sciences, 96, 102364.

Salgado, S. S.; Caxito, F. A.; Queiroga, G. N.; Castro, M. P. (2019a). Stratigraphy, petrography and tectonics of the manganese-bearing Buritirama Formation, Northern Carajás Domain, Amazon Craton. Brazilian Journal of Geology, 49, e20180106. https://doi.org/10.1590/2317-4889201920180106

Tavares, F. M.; Trouw, R. A. J.; Silva, C. M. G.; Justo, A. P.; Oliveira, J. K. M. (2018). The multistage tectonic evolution of the northeastern Carajás Province, Amazonian Craton, Brazil: revealing complex structural patterns. Journal of South American Earth Sciences, 88, 238–252. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.024

Vasquez, M. L.; Rosa-Costa, L. T. (orgs.) (2008). Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas. Belém: CPRM.