



<https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeo>
ISSN 2238-4960

Cadernos de Geociências da UFBA
v. 21, nº 1 (2026) e-262105

DOI:10.9771/geocad.v20i0.72375



Artigo de Pesquisa

Hierarquia processual e controle hidrodinâmico da arquitetura sedimentar em sistemas carbonáticos marinhos

Process hierarchy and hydrodynamic control of sedimentary architecture in marine carbonate systems

RICARDO PIAZZA MEIRELES

Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG

Universidade Federal da Bahia - UFBA

Salvador, Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2735-3493>

E-mail: ricardo.meireles@ufba.br

RESUMO - Sistemas carbonáticos marinhos são frequentemente interpretados a partir da produção sedimentar e da organização faciológica. Contudo, a arquitetura preservada nem sempre reflete os padrões de produção *in situ*, sendo fortemente condicionada pela redistribuição sedimentar sob controle hidrodinâmico. Este estudo propõe um arcabouço conceitual no qual a arquitetura sedimentar emerge da interação entre produção, hidrodinâmica persistente, eventos episódicos e preservação seletiva em sistemas abertos. Ao distinguir produção sedimentar de construção estratigráfica, o trabalho enfatiza a hierarquia processual como elemento estruturante do registro. Processos persistentes estabelecem o arcabouço organizacional, enquanto eventos episódicos contribuem para a arquitetura quando induzem mudanças duradouras no regime de fluxo ou nas condições de preservação. São propostos critérios arquiteturais baseados em continuidade, orientação geométrica, hierarquia interna e seletividade preservacional. A síntese desloca o foco interpretativo da fácies para a organização sistêmica dos depósitos, ampliando a capacidade de extrapolação entre sistemas modernos e fósseis.

Palavras-chave: Sistemas carbonáticos marinhos; Hidrodinâmica; Arquitetura sedimentar; Processos persistentes e episódicos; Preservação estratigráfica.

ABSTRACT - Marine carbonate systems are commonly interpreted through sediment production and facies organization. However, preserved sedimentary architecture often reflects hydrodynamic redistribution rather than *in situ* production patterns. This study proposes a conceptual framework in which sedimentary architecture results from the interaction between production, persistent hydrodynamics, episodic events and selective preservation in open systems. By explicitly distinguishing sediment production from stratigraphic construction, the paper emphasizes process hierarchy as a fundamental control on the sedimentary record. Persistent regimes establish the structural organization of the system, whereas episodic events only contribute architecturally when they induce lasting modifications in flow patterns or preservation conditions. Architectural criteria based on spatial continuity, geometric orientation, internal hierarchy and selective preservation are proposed to guide interpretation. This approach shifts the analytical focus from facies-based descriptions to system-scale organization, enhancing extrapolation between modern and ancient carbonate systems.

Keywords: Marine carbonate systems; Hydrodynamics; Sedimentary architecture; Persistent and episodic processes; Stratigraphic preservation.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas carbonáticos marinhos têm sido tradicionalmente interpretados a partir de modelos que privilegiam a produção sedimentar, a organização faciológica e a relação entre biota produtora, energia do meio e perfis deposicionais (Wilson, 1975; Read, 1985; Tucker, 1985; Tucker & Wright, 1990; Burchette & Wright, 1992; Pomar, 2001). Essa abordagem forneceu bases sólidas para a interpretação paleoambiental e estratigráfica de plataformas, rampas e margens carbonáticas em diferentes contextos geológicos, consolidando modelos amplamente utilizados tanto em sistemas modernos quanto no registro fóssil. No entanto, esses modelos tendem a assumir, de forma implícita, uma correspondência direta entre áreas de produção carbonática e arquitetura sedimentar preservada, o que nem sempre se sustenta à luz de observações empíricas recentes.

Evidências provenientes de estudos em sistemas modernos, análogos fósseis e análises de heterogeneidade arquitetural indicam que a redistribuição sedimentar sob controle hidrodinâmico exerce papel decisivo na organização espacial dos depósitos carbonáticos (Schlager, 2005; Eberli et al., 2004; Pomar & Kendall, 2008; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018). Em muitos contextos, correntes persistentes, regimes de ondas e sistemas de maré controlam a exportação, o *bypass* e a acumulação seletiva de sedimentos, produzindo arquiteturas que não refletem diretamente o padrão de produção *in situ*. Essa dinâmica revela a necessidade de distinguir conceitualmente entre produção sedimentar e construção estratigráfica (Schlager, 2005), bem como de reconhecer os sistemas carbonáticos marinhos como sistemas abertos, nos quais a preservação é altamente seletiva.

Embora o papel da hidrodinâmica seja amplamente reconhecido como forçante nos sistemas carbonáticos (Stow et al., 2002; Schlager, 2005), sua atuação como agente organizador da arquitetura sedimentar ainda é frequentemente tratada de forma fragmentada, associada a eventos extremos ou ambientes específicos, sem integração explícita em um arcabouço hierárquico de escala de sistema (Faugères & Mulder, 2011). Como consequência, a arquitetura sedimentar é muitas vezes interpretada como um subproduto da fácies, e não como a principal interface entre processos físicos e registro estratigráfico.

Neste contexto, o presente trabalho busca oferecer uma leitura integrada dos sistemas carbonáticos marinhos, destacando o papel da hidrodinâmica na organização da arquitetura sedimentar. A proposta parte da revisão e articulação de conceitos já discutidos na literatura, procurando tornar mais clara a distinção entre produção sedimentar e construção estratigráfica. Ao longo do texto, são exploradas, de forma sintética, as maneiras pelas quais processos hidrodinâmicos, tanto persistentes quanto episódicos, podem se refletir na organização dos depósitos, dialogando com abordagens anteriores sobre arquitetura e conectividade (Eberli et al., 2004; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

Ao adotar uma perspectiva sistêmica e arquitetural, este estudo busca contribuir para uma interpretação mais robusta e integrada dos sistemas carbonáticos marinhos, ampliando a capacidade de extrapolação entre diferentes contextos deposicionais e oferecendo subsídios conceituais para análises estratigráficas, comparativas e aplicadas.

2. SISTEMAS CARBONÁTICOS MARINHOS COMO SISTEMAS HIDRODINAMICAMENTE ORGANIZADOS

2.1. Limites dos modelos centrados exclusivamente na produção carbonática

A interpretação de sistemas carbonáticos marinhos foi historicamente estruturada a partir da relação entre produção biogênica, composição sedimentar e distribuição faciológica, originando modelos amplamente empregados na análise de plataformas, rampas e margens carbonáticas modernas e antigas. Abordagens clássicas enfatizaram a organização lateral de fácies e a ligação direta entre organismos produtores, energia do meio e perfis deposicionais, estabelecendo arcabouços conceituais robustos para a leitura paleoambiental e estratigráfica (Wilson, 1975; Tucker, 1985; Read, 1985; Tucker & Wright, 1990).

Avanços posteriores incorporaram classificações genéticas de plataformas e rampas, reconhecendo a influência do tipo de biota produtora, da posição da zona fótica e do regime hidrodinâmico dominante na definição dos perfis deposicionais. Essas contribuições foram fundamentais para superar modelos puramente descritivos e reforçar a necessidade de integrar produção sedimentar e energia física na interpretação dos sistemas carbonáticos (Burchette & Wright, 1992; Handford & Loucks, 1993; Pomar, 2001).

Entretanto, evidências provenientes de sistemas modernos, análogos fósseis e estudos de heterogeneidade arquitetural demonstram que modelos excessivamente centrados na produção e na fácies tendem a subestimar a complexidade espacial e a conectividade real dos corpos sedimentares. Em muitos contextos, a arquitetura resultante não reflete diretamente o padrão de produção *in situ*, mas sim a redistribuição seletiva dos sedimentos sob controle hidrodinâmico persistente (Gonzalez & Eberli, 1997; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

2.2. Separação conceitual entre produção sedimentar e construção estratigráfica

A distinção entre produção carbonática e construção estratigráfica constitui um passo conceitual essencial para a compreensão de sistemas carbonáticos marinhos como sistemas integrados. A produção refere-se à geração de sedimento por organismos e processos físico-químicos, enquanto a construção estratigráfica envolve os mecanismos responsáveis pela organização espacial, pelo empilhamento e pela preservação desses sedimentos no registro geológico (Schlager, 2005).

Diversos estudos demonstram que áreas de alta produtividade carbonática não correspondem necessariamente às principais zonas de acumulação sedimentar. Sedimentos produzidos em ambientes rasos podem ser continuamente exportados, retrabalhados ou redistribuídos para setores mais profundos, onde passam a compor corpos arquiteturalmente significativos, muitas vezes desconectados da área produtora original (Eberli et al., 2004; Pomar & Kendall, 2008; Rankey & Reeder, 2010).

Essa separação conceitual tem implicações diretas para a interpretação estratigráfica. O registro sedimentar passa a ser entendido não como um reflexo direto da produção, mas como o resultado integrado da interação entre produção, transporte, retrabalhamento e preservação seletiva. No contexto Quaternário, essa distinção foi explorada em alta resolução por Meireles (2026), mas sua validade é independente de idade geológica e se aplica igualmente a sistemas antigos, desde que preservadas as relações arquiteturais fundamentais.

2.3. Sistemas carbonáticos marinhos como sistemas abertos

Sistemas carbonáticos marinhos operam predominantemente como sistemas abertos, caracterizados por intenso intercâmbio sedimentar entre zonas de produção, áreas de trânsito e regiões de deposição final. A exportação sedimentar é um processo estrutural desses sistemas, ocorrendo de forma contínua ou recorrente sob a ação combinada de ondas, correntes e marés (Schlager, 2005; Eberli et al., 2004).

O conceito de *bypass* sedimentar é central nessa abordagem. Em plataformas e rampas carbonáticas, grandes volumes de sedimento podem atravessar setores extensos do sistema sem deposição significativa, sendo transferidos para zonas de menor energia ou armadilhas morfológicas específicas. Esse comportamento gera arquiteturas descontínuas, heterogêneas e fortemente controladas pela hidrodinâmica, desafiando modelos que pressupõem acumulação local proporcional à produção (Gonzalez & Eberli, 1997; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

A condição de sistema aberto implica também uma preservação estratigráfica altamente seletiva. Apenas uma fração do sedimento produzido é efetivamente incorporada ao registro, sendo a preservação condicionada por fatores como desaceleração hidrodinâmica, topografia antecedente e mudanças no regime de energia. Essa seletividade reforça a necessidade de interpretar a estratigrafia carbonática a partir da arquitetura e da conectividade dos corpos deposicionais, e não apenas de sucessões faciológicas verticais (Schlager, 2005; Pomar & Kendall, 2008).

2.4. Hidrodinâmica como agente organizador da arquitetura sedimentar

A hidrodinâmica desempenha papel central na organização espacial dos sistemas carbonáticos marinhos, atuando não apenas como agente de retrabalhamento, mas como elemento estruturante da arquitetura sedimentar. Correntes persistentes, regimes de ondas e sistemas de maré controlam a redistribuição dos sedimentos, a orientação dos corpos deposicionais e os padrões de conectividade em escala de sistema (Heezen & Hollister, 1971; Stow et al., 2002).

Estudos sobre formas de fundo subaquosas e padrões de transporte sedimentar demonstram que a persistência do campo hidrodinâmico é o principal fator responsável pela geração de geometrias recorrentes, tais como corpos alongados, barras migratórias e depósitos assimétricos, cuja arquitetura independe diretamente da natureza da fácies individual (Kenyon & Belderson, 1973).

Essa organização hidrodinâmica atua em múltiplas escalas e é modulada pela interação entre processos persistentes e eventos episódicos. Registros modernos permitem observar esses mecanismos com alta resolução espacial e temporal, como discutido por Meireles (2026), mas os princípios físicos subjacentes são universais e aplicáveis à interpretação de sistemas fósseis, desde que preservadas as relações geométricas fundamentais (Stow et al., 2002; Schlager, 2005).

2.5. Arquitetura sedimentar como síntese integrada do sistema

A arquitetura sedimentar representa a expressão integrada da dinâmica dos sistemas carbonáticos marinhos, sintetizando a interação entre produção, hidrodinâmica, exportação sedimentar e preservação seletiva.

Diferentemente da fácies, que registra condições locais e instantâneas, a arquitetura expressa padrões espaciais e hierárquicos resultantes da organização do sistema como um todo (Eberli et al., 2004; Schlager, 2005).

Estudos de heterogeneidade em rampas e plataformas demonstram que a conectividade dos corpos sedimentares, sua geometria e sua distribuição lateral são os principais controles sobre o comportamento estratigráfico e, em contextos aplicados, sobre propriedades de reservatório. Esses atributos são fundamentalmente controlados por processos hidrodinâmicos e pela dinâmica de sistemas abertos, e não apenas pela natureza da produção carbonática (Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

A arquitetura sedimentar constitui, portanto, a expressão integrada da dinâmica dos sistemas carbonáticos marinhos, sintetizando a interação entre produção sedimentar, redistribuição hidrodinâmica e preservação seletiva. Mais do que refletir a distribuição local de fácies, a arquitetura registra padrões espaciais recorrentes, hierarquias deposicionais e graus de conectividade impostos pelo funcionamento do sistema como um todo. Essa perspectiva desloca a interpretação estratigráfica do plano descritivo para um nível sistêmico, no qual a organização geométrica dos depósitos emerge como o principal elo entre processos físicos e registro sedimentar, independentemente da idade geológica ou do contexto deposicional específico (Eberli et al., 2004; Schlager, 2005; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

3. MECANISMOS HIDRODINÂMICOS E CONTROLE ARQUITETURAL

3.1. Correntes, ondas e marés como mecanismos organizadores

A arquitetura sedimentar de sistemas carbonáticos marinhos é fundamentalmente condicionada pela ação integrada de correntes, ondas e marés, que controlam a redistribuição sedimentar, a orientação dos corpos deposicionais e os padrões de conectividade em escala de sistema. Esses mecanismos hidrodinâmicos não atuam apenas como agentes de retrabalhamento superficial, mas impõem organização espacial recorrente aos depósitos, frequentemente desacoplada das áreas de produção carbonática *in situ* (Heezen & Hollister, 1971; Stow et al., 2002; Schlager, 2005).

Correntes persistentes exercem papel central na organização arquitetural, sobretudo em plataformas externas, taludes e setores de transição plataforma–bacia. Estudos clássicos demonstraram que fluxos direcionais contínuos são capazes de gerar geometrias alongadas, assimétricas e lateralmente extensas, associadas a zonas de erosão, *bypass* e acumulação seletiva. Esses depósitos refletem a persistência do campo hidrodinâmico dominante, mais do que variações pontuais de produção ou eventos isolados (Heezen & Hollister, 1971; Kenyon & Belderson, 1973; Stow et al., 2002).

A ação das ondas é particularmente relevante em ambientes rasos, onde a energia orbital controla a fragmentação, a seleção granulométrica e a exportação seletiva de sedimentos carbonáticos. Regimes de ondas recorrentes definem superfícies erosivas, limites de corpos deposicionais e padrões de redistribuição lateral, condicionando a preservação estratigráfica e a organização arquitetural em plataformas e rampas. Em contextos expostos, a ação contínua das ondas pode impedir a acumulação local de sedimentos produzidos *in situ*, reforçando

o desacoplamento entre produção e construção estratigráfica (Tucker, 1985; Pomar, 2001; Pomar & Kendall, 2008).

Sistemas dominados por marés introduzem padrões adicionais de complexidade arquitetural, uma vez que fluxos bidirecionais e assimétricos promovem alternância de transporte, zonas de convergência sedimentar e feições canalizadas. Em ambientes carbonáticos, a interação entre marés, morfologia antecedente e disponibilidade sedimentar pode gerar corpos alongados, barras compostas e arquiteturas fortemente controladas pela hidrodinâmica, cuja geometria não pode ser explicada apenas por modelos faciológicos clássicos (Gonzalez & Eberli, 1997; Dalrymple & Choi, 2007).

A classificação e a análise de formas de fundo subaquosas fornecem evidências diretas do papel organizador da hidrodinâmica. Grandes *bedforms* refletem a intensidade, a direção e a persistência dos fluxos responsáveis pelo transporte sedimentar, funcionando como indicadores geométricos da dinâmica do sistema. Em sistemas carbonáticos, essas feições evidenciam que a arquitetura sedimentar resulta da integração entre processos físicos e disponibilidade sedimentar, e não exclusivamente da natureza da fácies individual (Rankey & Reeder, 2010).

A interação entre correntes, ondas e marés ocorre em múltiplas escalas espaciais e é modulada por condições oceanográficas regionais, como padrões de circulação, gradientes energéticos e variações climáticas. Trabalhos que exploram a variabilidade térmica, hidrodinâmica e ecológica em sistemas costeiros e de plataforma reforçam que a organização sedimentar responde principalmente ao regime físico dominante, mesmo em contextos de elevada variabilidade ambiental (Rayner et al., 2003).

Em registros modernos, a combinação de dados oceanográficos, morfológicos e sedimentológicos permite documentar com alta resolução a relação entre hidrodinâmica e arquitetura sedimentar, evidenciando como processos físicos recorrentes moldam padrões deposicionais observáveis. No contexto Quaternário, essa relação foi discutida em detalhe por Meireles (2026), mas os princípios físicos subjacentes são independentes de idade geológica e permanecem aplicáveis à interpretação de sistemas antigos, desde que preservadas as relações geométricas e arquiteturais fundamentais (Stow et al., 2002; Schlager, 2005).

Em conjunto, correntes, ondas e marés impõem uma organização espacial recorrente aos sistemas carbonáticos marinhos, controlando a geometria, a conectividade e a hierarquia dos corpos sedimentares independentemente da distribuição pontual das fácies. A arquitetura sedimentar resultante reflete a integração desses mecanismos hidrodinâmicos ao longo do espaço, registrando padrões geométricos consistentes que transcendem variações locais de produção. Assim, a interpretação estratigráfica desses sistemas exige reconhecer a primazia dos regimes físicos dominantes na construção do registro sedimentar, estabelecendo as bases para distinguir entre feições estruturantes do sistema e aquelas associadas a respostas transitórias da dinâmica deposicional (Heezen & Hollister, 1971; Stow et al., 2002; Schlager, 2005).

3.2. Processos persistentes e episódicos: hierarquia, superposição e expressão arquitetural

A arquitetura sedimentar de sistemas carbonáticos marinhos resulta da superposição de processos hidrodinâmicos que operam com diferentes frequências, magnitudes e durações. Em vez de responder de forma

homogênea a todos os estímulos físicos, o sistema registra apenas aqueles processos capazes de impor organização espacial duradoura ou de alterar de maneira significativa as condições de preservação. Essa assimetria entre processos atuantes e processos efetivamente registrados é central para compreender por que certos depósitos adquirem relevância arquitetural enquanto outros permanecem como feições subordinadas ou transitórias no registro estratigráfico (Schlager, 2005; Stow et al., 2002).

Processos persistentes, definidos aqui como aqueles que atuam de forma recorrente ao longo do espaço, independentemente de sua intensidade instantânea, estabelecem o arcabouço organizacional do sistema. Seu efeito arquitetural manifesta-se por meio da repetição geométrica, da coerência direcional e da manutenção de padrões de conectividade entre corpos sedimentares. Em sistemas carbonáticos, essa persistência não implica estabilidade ambiental, mas sim a recorrência de regimes físicos capazes de reorganizar continuamente o sedimento disponível, promovendo seleção espacial e hierarquização deposicional (Gonzalez & Eberli, 1997; Rankey & Reeder, 2010).

Eventos episódicos, por sua vez, caracterizam-se por elevada intensidade e curta duração, podendo gerar volumes expressivos de redistribuição sedimentar em intervalos de tempo reduzidos. No entanto, seu impacto arquitetural é altamente dependente do contexto em que ocorrem. Quando inseridos em um sistema dominado por processos persistentes bem estabelecidos, os produtos desses eventos tendem a ser retrabalhados, fragmentados ou reabsorvidos, resultando em feições descontínuas, de extensão limitada e baixa conectividade lateral (Stow et al., 2002; Faugères & Mulder, 2011; Meireles et al., 2013).

A relevância arquitetural de um evento episódico aumenta apenas quando este é capaz de modificar, ainda que temporariamente, o campo hidrodinâmico dominante ou a morfologia do sistema. Nessas situações, eventos extremos podem redefinir superfícies-chave, redistribuir trajetórias preferenciais de fluxo ou criar armadilhas sedimentares, passando a influenciar a organização subsequente dos depósitos. Mesmo nesses casos, contudo, a persistência do novo arranjo depende da continuidade dos processos que o sucedem, e não do evento isolado que o originou (Schlager, 2005; Talling et al., 2015; Cooper et al., 2016).

Do ponto de vista arquitetural, essa hierarquia processual implica que depósitos associados a processos persistentes tendem a apresentar maior continuidade espacial, relações geométricas consistentes e maior probabilidade de preservação estratigráfica. Em contraste, depósitos vinculados a eventos episódicos são mais frequentemente reconhecidos como elementos internos, sobrepostos ou truncados, cuja expressão no registro depende fortemente das condições de acomodação e retrabalhamento subsequentes (Eberli et al., 2004; Rankey & Reeder, 2010).

A distinção entre persistência e episodicidade não deve, portanto, ser tratada como dicotomia simplista, mas como um problema de hierarquia e integração espacial. Registros modernos, especialmente aqueles documentados com alta resolução temporal, permitem identificar com clareza os efeitos imediatos de eventos extremos; no entanto, apenas uma fração desses efeitos é incorporada ao registro estratigráfico de longo prazo, como discutido no contexto Quaternário por Meireles (2026). Essa observação reforça a necessidade de cautela ao extrapolar eventos observados diretamente para interpretações arquiteturais em sistemas antigos.

Assim, a leitura da arquitetura sedimentar em sistemas carbonáticos marinhos exige avaliar não apenas a presença de feições associadas a processos episódicos, mas sua posição relativa dentro de um arcabouço

organizado por processos persistentes. É essa hierarquia, mais do que a magnitude isolada de eventos, que governa a construção do registro sedimentar e determina quais elementos efetivamente estruturam o sistema ao longo do espaço.

3.3. Assinaturas arquiteturais e critérios de reconhecimento

A identificação de assinaturas arquiteturais em sistemas carbonáticos marinhos requer deslocar a análise do nível descritivo para um plano interpretativo baseado em geometria, conectividade e relações espaciais entre corpos sedimentares. Diferentemente das fácies, que registram condições locais e instantâneas, as assinaturas arquiteturais expressam a organização integrada do sistema, refletindo a atuação cumulativa dos processos hidrodinâmicos dominantes ao longo do espaço. Essa distinção é fundamental para reconhecer quais elementos do registro sedimentar efetivamente estruturam o sistema e quais representam respostas subordinadas ou transitórias da dinâmica deposicional (Eberli et al., 2004; Schlager, 2005; Rankey & Reeder, 2010).

Um primeiro critério essencial é a continuidade espacial dos corpos sedimentares. Depósitos associados a processos persistentes tendem a exibir extensão lateral significativa, coerência geométrica e relações previsíveis de empilhamento e justaposição. Essas características contrastam com depósitos descontínuos, de geometria irregular ou extensão limitada, frequentemente vinculados a eventos episódicos cuja preservação depende de condições específicas de acomodação e retrabalhamento subsequente. Assim, a escala e a conectividade dos corpos constituem indicadores primários da hierarquia processual registrada (Gonzalez & Eberli, 1997; Meireles et al., 2013; Petrovic et al., 2018).

A orientação geométrica e a assimetria dos depósitos representam outro conjunto de critérios diagnósticos. Corpos alongados, superfícies inclinadas sistematicamente e padrões direcionais recorrentes refletem a influência de campos hidrodinâmicos persistentes, independentemente da composição faciológica interna. A repetição dessas geometrias ao longo do sistema indica organização controlada por fluxos dominantes, enquanto variações abruptas ou padrões caóticos sugerem influência episódica ou sobreposição de processos de curta duração (Kenyon & Belderson, 1973; Stow et al., 2002; Cooper et al., 2016).

A hierarquia interna dos corpos sedimentares constitui um terceiro critério relevante. Arquiteturas estruturantes tendem a apresentar organização multiescala, com feições menores condensadas em corpos de maior escala, refletindo a integração de processos atuantes em diferentes níveis espaciais. Depósitos associados a eventos episódicos, por outro lado, são frequentemente registrados como elementos internos, truncados ou sobrepostos, sem controle claro sobre a organização do sistema como um todo. Essa relação hierárquica permite diferenciar elementos fundamentais da arquitetura daqueles que representam apenas variações internas do registro (Eberli et al., 2004; Rankey & Reeder, 2010; Cooper et al., 2018).

A relação entre arquitetura e preservação estratigráfica também fornece critérios interpretativos importantes. Em sistemas carbonáticos marinhos, a preservação não é função direta da taxa de produção, mas do posicionamento relativo dos depósitos em relação às trajetórias preferenciais de fluxo, zonas de *bypass* e armadilhas morfológicas. Corpos arquiteturalmente significativos tendem a ocupar posições favoráveis à acumulação e à preservação, enquanto grandes volumes de sedimento podem ser sistematicamente removidos ou

retrabalhados sem deixar registro duradouro. Essa seletividade reforça a necessidade de interpretar lacunas e descontinuidades como componentes ativos da arquitetura, e não apenas como ausência de deposição (Schlager, 2005; Pomar & Kendall, 2008).

Em registros modernos, a integração entre dados morfológicos, sedimentológicos e oceanográficos permite reconhecer essas assinaturas com alto grau de detalhe, facilitando a distinção entre processos persistentes e respostas episódicas. No contexto Quaternário, a observação direta desses mecanismos em alta resolução foi discutida por Meireles (2026), fornecendo exemplos claros de como assinaturas arquiteturais emergem da interação entre hidrodinâmica e redistribuição sedimentar. Contudo, os critérios aqui discutidos não dependem de resolução temporal elevada e permanecem aplicáveis à interpretação de sistemas antigos, desde que preservadas as relações geométricas fundamentais.

Dessa forma, a leitura da arquitetura sedimentar em sistemas carbonáticos marinhos deve basear-se em um conjunto integrado de critérios (continuidade, orientação, hierarquia e preservação) que permita distinguir entre elementos estruturantes do sistema e feições subordinadas. A aplicação consistente desses critérios possibilita interpretações estratigráficas mais robustas, reduzindo ambiguidades associadas a abordagens exclusivamente faciológicas e ampliando a capacidade de extrapolação entre sistemas modernos e fósseis.

4. DISCUSSÃO

4.1. Da fácies à arquitetura: implicações interpretativas

Os resultados conceituais apresentados indicam que a interpretação de sistemas carbonáticos marinhos se beneficia de uma mudança de foco da descrição faciológica para a análise arquitetural integrada. Enquanto as fácies permanecem essenciais para a caracterização local dos depósitos, sua capacidade explicativa é limitada quando dissociada da organização espacial imposta pelos processos hidrodinâmicos dominantes. A arquitetura sedimentar, entendida como a síntese de geometria, conectividade e hierarquia dos corpos deposicionais, oferece um elo mais direto entre processos físicos e registro estratigráfico, reduzindo ambiguidades inerentes a abordagens exclusivamente descritivas (Wilson, 1975; Tucker & Wright, 1990; Eberli et al., 2004; Schlager, 2005).

Essa perspectiva não invalida os modelos clássicos de plataformas e rampas, mas os reposiciona como referenciais morfológicos que necessitam ser interpretados à luz da hidrodinâmica e da natureza aberta dos sistemas carbonáticos. Evidências de heterogeneidade arquitetural e de desacoplamento entre produção e acumulação reforçam que a arquitetura não é um subproduto automático da fácies, mas o resultado de processos organizadores que operam em múltiplas escalas espaciais (Pomar, 2001; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

4.2. Hidrodinâmica, hierarquia processual e preservação seletiva

A distinção entre processos persistentes e episódicos fornece um arcabouço robusto para interpretar a hierarquia do registro sedimentar em sistemas carbonáticos marinhos. Processos persistentes estabelecem o arcabouço organizacional do sistema, enquanto eventos episódicos atuam como moduladores cuja expressão

arquitetural depende da capacidade de alterar, de forma duradoura, o campo hidrodinâmico ou as condições de preservação. Essa hierarquia explica por que depósitos associados a eventos de alta magnitude nem sempre apresentam continuidade espacial ou relevância arquitetural no registro final (Stow et al., 2002; Schlager, 2005; Faugères & Mulder, 2011; Talling et al., 2015).

A preservação seletiva emerge, assim, como elemento-chave na construção do registro estratigráfico. Em sistemas abertos, grandes volumes de sedimento podem ser produzidos e continuamente retrabalhados sem deixar registro duradouro, enquanto a acumulação efetiva ocorre em posições específicas controladas por desaceleração hidrodinâmica e armadilhas morfológicas. Essa lógica reforça a necessidade de interpretar lacunas, superfícies erosivas e zonas de *bypass* como componentes ativos da arquitetura sedimentar, e não apenas como ausência de deposição (Eberli et al., 2004; Schlager, 2005; Pomar & Kendall, 2008).

4.3. Assinaturas arquiteturais como ferramenta de extrapolação

A aplicação de critérios arquiteturais (*e.g.* continuidade, orientação, hierarquia interna e relação com a preservação) amplia a capacidade de extrapolação entre sistemas modernos e fósseis. Ao privilegiar relações geométricas e padrões espaciais recorrentes, essa abordagem reduz a dependência de resolução temporal elevada e permite interpretar sistemas antigos mesmo quando o controle cronológico é limitado. Estudos em rampas e plataformas demonstram que essas assinaturas são consistentes em diferentes contextos deposicionais, desde que os regimes hidrodinâmicos dominantes sejam corretamente identificados (Gonzalez & Eberli, 1997; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

Registros modernos oferecem a oportunidade de observar diretamente a formação dessas assinaturas, fornecendo um laboratório natural para validar interpretações arquiteturais. No contexto Quaternário, análises de alta resolução documentaram como a interação entre hidrodinâmica persistente, eventos episódicos e redistribuição sedimentar resulta em padrões arquiteturais reconhecíveis no registro (Meireles, 2026). Contudo, a validade dos critérios propostos não depende desse nível de resolução, o que reforça sua aplicabilidade a sistemas antigos e a estudos comparativos.

4.4. Implicações para análises aplicadas e modelos preditivos

A leitura arquitetural integrada de sistemas carbonáticos marinhos possui implicações diretas para análises aplicadas, particularmente em contextos de exploração de recursos e avaliação de heterogeneidade de reservatórios. A conectividade lateral, a continuidade dos corpos deposicionais e a distribuição espacial de zonas de *bypass* e acumulação exercem controle fundamental sobre propriedades petrofísicas e sobre o comportamento de fluidos, frequentemente superando a influência da fácies isolada. Modelos que incorporam arquitetura e hidrodinâmica tendem, portanto, a apresentar maior capacidade preditiva do que aqueles baseados exclusivamente em modelos faciológicos estáticos (Eberli et al., 2004; Rankey & Reeder, 2010; Petrovic et al., 2018).

Além disso, a incorporação explícita da hierarquia processual permite avaliar de forma mais crítica a representatividade de eventos extremos no registro sedimentar, evitando extrapolações indevidas a partir de feições pontuais. Essa abordagem contribui para modelos mais realistas de evolução deposicional e para a

integração entre dados sedimentológicos, geofísicos e oceanográficos em diferentes escalas (Stow et al., 2002; Schlager, 2005).

4.5. Síntese interpretativa

Em conjunto, a discussão reforça que a arquitetura sedimentar em sistemas carbonáticos marinhos é governada pela interação entre produção sedimentar, hidrodinâmica persistente, eventos episódicos e preservação seletiva, operando em sistemas abertos. Ao deslocar o foco interpretativo da fácies para a arquitetura e para a hierarquia processual, torna-se possível integrar sistemas modernos e antigos em um arcabouço conceitual comum, capaz de orientar análises estratigráficas, comparações regionais e aplicações preditivas. Essa síntese consolida a hidrodinâmica como elemento organizador central e estabelece a arquitetura sedimentar como a principal interface entre processos físicos e registro geológico (Eberli et al., 2004; Schlager, 2005; Rankey & Reeder, 2010).

5. CONCLUSÕES

Este trabalho propõe um arcabouço interpretativo integrado para a compreensão de sistemas carbonáticos marinhos, no qual a hidrodinâmica atua como agente organizador central da arquitetura sedimentar, enquanto a produção carbonática fornece a condição necessária, mas não determinante, para a construção do registro estratigráfico. A distinção conceitual entre produção sedimentar e construção estratigráfica mostrou-se essencial para interpretar a geometria, a conectividade e a hierarquia dos corpos deposicionais em sistemas abertos, evitando leituras excessivamente faciológicas do registro (Eberli et al., 2004; Schlager, 2005).

A análise dos mecanismos hidrodinâmicos evidenciou que processos persistentes impõem a organização espacial dominante dos depósitos, enquanto eventos episódicos exercem papel modulador cuja relevância arquitetural depende da capacidade de alterar de forma duradoura o campo hidrodinâmico ou as condições de preservação. Essa hierarquia processual explica a assimetria entre a intensidade de certos eventos e sua expressão efetiva no registro sedimentar, reforçando a necessidade de interpretar o registro como produto de preservação seletiva em sistemas abertos (Stow et al., 2002; Schlager, 2005; Faugères & Mulder, 2011; Meireles et al., 2013).

As assinaturas arquiteturais, expressas por continuidade espacial, orientação geométrica, hierarquia interna e relação com zonas de *bypass* e armadilhas sedimentares, constituem critérios operacionais robustos para a leitura do registro sedimentar em diferentes contextos deposicionais. Ao privilegiar relações espaciais e geométricas, esses critérios permitem extrapolações entre sistemas modernos e fósseis sem dependência de alta resolução temporal, ampliando a aplicabilidade do modelo proposto (Rankey & Reeder, 2010; Cooper et al., 2016, 2018; Petrovic et al., 2018).

A síntese apresentada demonstra que a arquitetura sedimentar representa a principal interface entre processos físicos e registro estratigráfico em sistemas carbonáticos marinhos. Ao deslocar o foco interpretativo da fácies isolada para a organização sistêmica dos depósitos, este trabalho oferece uma base conceitual transversal, capaz de integrar estudos estratigráficos, análises comparativas e aplicações preditivas. Observações de alta

resolução em sistemas Quaternários reforçam empiricamente essa lógica, mas não a condicionam, confirmando sua validade geral (Meireles, 2026).

Em conjunto, as conclusões consolidam a hidrodinâmica e a arquitetura sedimentar como eixos interpretativos centrais para o estudo de sistemas carbonáticos marinhos, fornecendo um referencial conceitual que dialoga com modelos clássicos, mas avança ao explicitar seus limites e ao incorporar a dinâmica de sistemas abertos como elemento estruturante do registro geológico.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Universidade Federal da Bahia (UFBA) pelo apoio institucional, na condição de Docente Permanente, especialmente no âmbito do Curso de Oceanografia e do Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO). Agradece à CAPES-Brasil pelo suporte à pesquisa. Reconhece, igualmente, o apoio institucional do Projeto nº 2.8921 (8921) – UFRGS-IPH/Consórcio Libra (COQUINAS II), cujo financiamento tem contribuído para o desenvolvimento das investigações do autor em sistemas carbonáticos marinhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burchette, T.P.; Wright, V.P., 1992.** Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79 (1-4): 3–57.
- Cooper, J.A.G.; Green, A.N.; Meireles, R.P.; Klein, A.H.F.; Souza, j.; Toldo Jr, E.E., 2016.** Sandy barrier overstepping and preservation linked to rapid sea level rise and geological setting. *Marine Geology*, 382: 80-91.
- Cooper, J.A.G.; Meireles, R.P.; Green, A.N.; Klein, A.H.F.; Toldo Jr, E.E., 2018.** Late Quaternary stratigraphic evolution of the inner continental shelf in response to sea-level change, Santa Catarina, Brazil. *Marine Geology*, 397: 1-14.
- Dalrymple, R.W.; Choi, K., 2007.** Morphologic and facies trends through the fluvial–marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. *Earth-Science Reviews* 81 (3-4): 135–174.
- Eberli, G.P.; Masferro, J.L.; Sarg, J.F., 2004.** Seismic Imaging of Carbonate Reservoirs and Systems. In: AAPG Memoir 81, pp. 1–20.
- Faugères, J-C.; Mulder, T., 2011.** Contour currents and contourite drifts. *Developments in Sedimentology*, 63: 149-214.
- Gonzalez, R.; Eberli, G.P., 1997.** Sediment transport and bedforms in a carbonate tidal inlet; Lee Stocking Island, Exumas, Bahamas. *Sedimentology* 44 (6): 1015-1030.
- Handford, C.R.; Loucks, R.G., 1993.** Carbonate depositional sequences and systems tracts—responses of carbonate platforms to relative sea-level changes. In: Loucks, R.G., Sarg, J.F. (Eds.), *Carbonate Sequence Stratigraphy*. AAPG Memoir 57, pp. 3–41.
- Heezen, B.C.; Hollister, C.D., 1971.** *The Face of the Deep*. Oxford University Press, New York, 659 pp.

- Kenyon, N.H.; Belderson, R.H., 1973.** Bed forms of the Mediterranean undercurrent observed with side-scan sonar. *Sedimentary Geology*, 9 (2): 77-99.
- Meireles, R.P.; Quartau, R.; Ramalho, R.S.; Rebelo, A.C.; Madeira, J.; Zanon, V.; Ávila, S.P., 2013.** Depositional processes on oceanic island shelves – Evidence from storm-generated Neogene deposits from the mid-North Atlantic. *Sedimentology*, 60 (7): 1769-1785.
- Meireles, R.P., 2026.** Carbonate Factory Systems no Quaternário: integração entre produção, hidrodinâmica e arquitetura estratigráfica. *Cadernos de Geociências*, 21 (1): e-262104.
- Petrovic, A.; Aigner, T.; Pontiggia, M., 2018.** Facies heterogeneities in a ramp carbonate reservoir analogue: a new high-resolution approach for 3d facies modelling. *Journal of Petroleum Geology* 41 (2): 155-174.
- Pomar, L., 2001.** Types of carbonate platforms: A genetic approach. *Basin Research* 13 (3): 313–334.
- Pomar, L.; Kendall, C.G.St.C., 2008.** Architecture of carbonate platforms: A response to hydrodynamics and ecology. *In: Controls on Carbonate Platform and Reef Development*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication No. 89, ISBN 978-1-56576-130-8, p. 187–216.
- Rankey, E.C.; Reeder, S.L., 2010.** Controls on platform-scale patterns of carbonate deposition. *Sedimentology* 57 (6): 1545 – 1565.
- Rayner, N.A.; Parker, D.E.; Horton, E.B.; Folland, C.K.; Alexander, L.V.; Rowell, D.P.; Kent, E.C.; Kaplan, A., 2003.** Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 108: D14, 4407.
- Read, J.F., 1985.** Carbonate platform facies models. *AAPG Bulletin* 69 (1): 1–21.
- Schlager, W., 2005.** Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology* 8, 200 pp.
- Stow, D.A.V.; Faugères, J.-C.; Howe, J.A.; Pudsey, C.J.; Viana, A.R., 2002.** Bottom currents, contourites and deep-sea sediment drifts: Current state-of-the-art. *Geological Society, London, Memoirs* 22, 7–20.
- Talling, P.J.; Allin, J.; Armitage, D.A.; Arnott, R.W.C.; Cartigny, M.J.B.; Clare, M.A.; Felletti, F.; Covault, J.A.; Girardclos, S.; Hansen, E.; Hill, P.R.; Hiscott, R.N.; Hogg, A.J.; Clarke, J.H.; Jobe, Z.R.; Malgesini, G.; Mozzato, A.; Naruse, H.; Parkinson, S.; Peel, F.J.; Piper, D.J.W.; Pope, E.; Postma, G.; Rowley, P.; Sguazzini, A.; Stevenson, C.J.; Sumner, E.J.; Sylvester, Z.; Watts, C.; Xu, J., 2015.** Key future directions for research on turbidity currents and their deposits. *Journal of Sedimentary Research* 85 (2): 153–169.
- Tucker, M.E., 1985.** Shallow-marine carbonate facies and facies models. *Geological Society, London, Special Publications* 18: 147–169.
- Tucker, M.E.; Wright, V.P., 1990.** Carbonate Sedimentology. Blackwell Scientific Ltd, Oxford, 482 pp.
- Wilson, J.L., 1975.** Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, New York, 471 pp.