REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOLÓGICA DE SETE ARGILAS BRASILEIRAS E SELEÇÃO DE CARGAS PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

PHYSICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SEVEN BRAZILIAN CLAYS AND FILLER SELECTION FOR POLYMER COMPOSITES

Engenharias • 12/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794298165

Antonio Claudio Kieling[1]

Marcos Dantas dos Santos[2]

Gilberto Garcia Del Pino[3]

Abderrezak Bezazi[4]

RESUMO

Este estudo caracteriza sete argilas brasileiras do Amazonas, de Santa Catarina e do Pará, visando selecionar cargas para compósitos poliméricos. Avaliam-se secagem, peneiramento, microscopia eletrônica de varredura e demanda de água e óleos em duplicata. Os pontos operacionais P1 e P2 descrevem a evolução da consistência. A fração passante em 75 µm varia de 10,37% a 63,66%. As médias de demanda terminal variam de 65,8% a 85,4% para água, 62,2% a 72,0% para amêndoa doce e 61,0% a 82,4% para girassol, em relação à massa de argila pesada. A negra de Santa Catarina é priorizada para cargas finas, orientando formulações de revestimentos, preenchimentos e peças moldadas.

Palavras-chave: argilas brasileiras; compósitos poliméricos; demanda de líquidos.

ABSTRACT

This study characterises seven natural and commercial Brazilian clays from Amazonas, Santa Catarina and Pará to support the selection of mineral fillers for polymer composites. Drying, sieving, scanning electron microscopy and duplicate water and oil demand tests are evaluated. Operational endpoints P1 and P2 describe consistency evolution. The fraction passing 75 µm ranges from 10.37% to 63.66%. Mean terminal demand ranges from 65.8% to 85.4% for water, 62.2% to 72.0% for sweet almond oil and 61.0% to 82.4% for sunflower oil, relative to weighed clay mass. Santa Catarina black clay is prioritised for fine fillers, guiding the development of coatings, filling compounds and moulded parts.

Keywords: Brazilian clays; polymer composites; liquid demand.

1. INTRODUÇÃO

Argilas atuam como cargas particuladas em matrizes poliméricas e permitem ajustar a composição, a consistência de processamento e a resposta do material. A geometria das partículas, sua condição de umidade e a interação com a fase líquida ajudam a definir o preparo da carga e a escolha da matriz. Conhecer essas características permite direcionar matérias-primas naturais e comerciais a aplicações com requisitos distintos.

Kojima *et al.* (1993) demonstraram, em híbridos de poliamida 6 e argila, o potencial de ganhos de rigidez e resistência associado à organização da fase mineral na matriz. Esse resultado evidencia a importância da dispersão e da interface. Na seleção de argilas naturais, a caracterização do pó constitui a etapa inicial para planejar o beneficiamento e a incorporação ao polímero.

No contexto amazônico, Kieling *et al.* (2023a) investigaram compósitos de epóxi com endocarpo de tucumã e caulim. Em estudo complementar, Kieling *et al.* (2023b) utilizaram planejamento experimental para avaliar as proporções desses constituintes. Essas pesquisas oferecem uma base para explorar cargas regionais em materiais moldados, relacionando a preparação das fases às propriedades exigidas pela aplicação.

A adsorção participa das interações que se estabelecem na superfície das argilas. Ela corresponde ao enriquecimento de espécies na interface; sorção é uma denominação abrangente para processos de adsorção e absorção (IUPAC, 2025a, 2025b). Nos ensaios de formação de pastas, a quantidade de líquido adicionada também reflete o preenchimento de vazios e a organização das partículas. Essa demanda fornece uma informação tecnológica útil para formular e comparar misturas.

O objetivo deste trabalho é comparar características físicas, morfológicas e demanda de líquidos de sete argilas, selecionar candidatas para compósitos poliméricos e propor aplicações coerentes com seus perfis. A seleção considera a disponibilidade de fração fina, a condição registrada na secagem e a resposta com água e óleos, estabelecendo prioridades para o desenvolvimento de formulações.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Adsorção e demanda de líquido

A adsorção depende das interações entre a superfície mineral e as espécies em contato com ela (IUPAC, 2025a). Em uma mistura com polímero ou líquido, essas interações ajudam a organizar a região de contato entre as fases. Neste estudo, demanda de líquido corresponde à quantidade necessária para atingir uma consistência definida nas condições do ensaio, expressa pela quantidade adicionada até cada ponto operacional.

A ASTM D281 relaciona a absorção de óleo por pigmentos à demanda de veículo necessária à formação de uma pasta (ASTM International, 2021). Essa relação oferece uma referência conceitual para interpretar o consumo de líquido como uma característica de formulação. O valor obtido depende da mistura e do critério de ponto final adotados no ensaio.

A demanda de líquido reúne contribuições da superfície acessível e da configuração dos agregados. A determinação de área específica e porosidade utiliza técnicas próprias, como a fisissorção de gases descrita por Thommes *et al.* (2015). Esses indicadores podem ser

associados em estudos de desenvolvimento para esclarecer os mecanismos de interação e orientar tratamentos superficiais.

Interface e processamento de compósitos

A incorporação de uma carga envolve o contato da matriz com as partículas e sua distribuição durante a mistura. Pós com diferentes demandas de líquido podem exigir ajustes de proporção, energia de mistura e consistência. Assim, a comparação com líquidos de ensaio ajuda a planejar formulações e a selecionar sistemas para avaliação na resina de interesse.

Su, Fang e Luo (2024) relacionaram a funcionalização da montmorilonita e sua incorporação em epóxi à qualidade da interface e da dispersão. Essa abordagem mostra como a preparação superficial pode ampliar o uso de argilas em compósitos. As respostas com água e óleos fornecem, nesse contexto, elementos iniciais para escolher quais combinações investigar.

Liu, Hoa e Pugh (2008) estudaram o transporte de água em nanocompósitos de epóxi e argila por medidas ao longo do tempo e modelos de difusão. A avaliação da umidade e do contato com líquidos integra, portanto, a preparação da carga e a investigação do material consolidado. No pó, o acompanhamento da secagem orienta o condicionamento antes da formulação.

Plasticidade e caracterização das argilas

A plasticidade com água orienta a conformação de massas argilosas. Santana *et al.* (2010) e Nascimento *et al.* (2012) compararam métodos de Atterberg e Pfefferkorn e relacionaram o comportamento plástico às características das amostras. Esses estudos mostram a

importância de associar as condições de preparação ao procedimento de caracterização.

Os limites de Atterberg são teores de água determinados por ensaios padronizados de consistência. O limite de plasticidade (LP) delimita a transição entre os estados semissólido e plástico, enquanto o limite de liquidez (LL) delimita a transição entre os estados plástico e líquido. A ABNT NBR 6459 (ABNT, 2016a) e a ABNT NBR 7180 (ABNT, 2016b) estabelecem os procedimentos de determinação desses limites; a ISO 17892-12 (ISO, 2018) fornece um referencial padronizado adicional para sua interpretação.

O índice de plasticidade ($IP = LL - LP$) expressa a amplitude dos teores de água em que o material apresenta comportamento plástico. Esse intervalo caracteriza a consistência e não define, isoladamente, o teor de água ótimo para todo processo de conformação (ABNT, 2016a, 2016b; ISO, 2018).

No presente estudo, P1 e P2 identificam os pontos intermediário e terminal da adição de líquidos. São parâmetros operacionais para comparar a evolução das pastas e planejar a incorporação de cargas em matrizes poliméricas, incluindo a demanda observada com óleos. P1 e P2 não são equiparados a LP e LL, e sua diferença não é apresentada como índice de plasticidade de Atterberg.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras e organização do estudo

Foram avaliadas as sete amostras identificadas na Tabela 1. CC corresponde ao caulim do Careiro, anteriormente registrado como Caulim-AM; IT corresponde à argila negra de Itacoatiara, registrada

como Negra-AM. As amostras PN1, PN2, CC e IT são provenientes do estado do Amazonas; VSC e NSC, do estado de Santa Catarina; e o caulim comercial Imerys (IM), do estado do Pará. O Imerys foi utilizado como referência comercial de comparação. A fotografia da Figura 1 documenta o conjunto acondicionado e identificado.

Tabela 1. Identificação e estado de origem das amostras

Código	Nome padronizado	Estado de origem	Registro original
PN1	Ponta Negra 1	Amazonas	Ponta Negra 1
PN2	Ponta Negra 2	Amazonas	Ponta Negra 2
CC	Caulim do Careiro	Amazonas	Caulim-AM
IT	Negra de Itacoatiara	Amazonas	Negra-AM
VSC	Verde de Santa Catarina	Santa Catarina	Verde-SC
NSC	Negra de Santa Catarina	Santa Catarina	Negra-SC
IM	Caulim Imerys	Pará	Caulim Imerys

Fonte: Autores (2026).

Figura 1. Aspecto macroscópico das sete amostras acondicionadas e identificadas. A fotografia documenta o conjunto experimental apresentado na Tabela 1.



Fonte: Autores (2026).

A análise reuniu massas antes e após secagem, massas retidas em peneiras, uma micrografia de MEV por amostra e determinações em duplicata com três líquidos. A interpretação conjunta dessas caracterizações foi utilizada para selecionar perfis de carga e discutir rotas de aplicação.

Secagem e distribuição por peneiramento

A perda de massa na secagem foi calculada a partir das pesagens antes e após estufa, pela Equação 1, utilizando a massa inicial como denominador. Essa base foi mantida em todas as amostras para a comparação dos registros.

$$U_i = \frac{m_{antes} - m_{após}}{m_{antes}} \times 100 \quad (1)$$

A distribuição granulométrica aparente foi obtida das massas retidas nas aberturas de 2,00; 1,40; 1,00; 0,590; 0,420; 0,350; 0,250; 0,180; 0,125 e 0,075 mm, além do fundo. Cada classe foi normalizada pela soma das massas recuperadas no próprio ensaio. A Equação 2 apresenta o cálculo da fração passante em 75 µm, utilizada como um dos indicadores comparativos.

$$F_{75} = \frac{m_{fundo}}{m_{recuperada}} \times 100 \quad (2)$$

O peneiramento caracteriza a distribuição aparente de partículas e agregados na condição do ensaio. A fração passante em 75 µm foi adotada como indicador da disponibilidade de material fino para classificação e formulação.

Microscopia eletrônica de varredura

A análise morfológica utilizou as sete micrografias identificadas com as amostras, adquiridas em 27 de abril de 2021. Os registros indicam detector de elétrons secundários, tensão de aceleração de 15,0 kV e alto vácuo. As ampliações variam de 10.000 a 35.000 vezes, com barras de escala de 1 µm ou 500 nm. A avaliação foi qualitativa, observando forma das partículas, empilhamento, agregação e distribuição de partículas menores sobre os agregados.

A avaliação morfológica considerou as barras de escala de cada campo e observou o aspecto lamelar, os empilhamentos e a configuração dos agregados. Esses elementos complementam o peneiramento e orientam o planejamento da dispersão.

Demanda de água e óleos

Foram analisados ensaios com água, óleo de amêndoa doce e óleo de girassol, em duplicata por combinação de argila e líquido. O ponto intermediário registrado como plasticidade recebeu a denominação P1, e o ponto terminal registrado como saturação, P2. Os valores representam demandas operacionais de líquido. Esses pontos descrevem a evolução da consistência da pasta no protocolo de adição de líquido.

A demanda foi calculada pela diferença entre as massas inicial e final do sistema fornecedor de líquido, dividida pela massa de argila pesada, conforme a Equação 3. As pesagens do numerador e do denominador foram utilizadas na mesma unidade.

$$D_j = \frac{m_{L0} - m_{Lj}}{m_A} \qquad (3)$$

Na Equação 3, mL0 representa a massa inicial do fornecedor de líquido; mLj, sua massa após o ponto considerado; e mA, a massa de argila pesada. Os resultados são expressos em g/g, mantendo o denominador correspondente à pesagem de cada alíquota. Os percentuais mássicos também foram calculados em relação à massa de argila pesada: as razões em g/g e seus desvios-padrão foram multiplicados por 100. Assim, 1% m/m corresponde a 1 g de líquido por 100 g de argila pesada. Os percentuais quantificam líquido adicionado em relação à massa de argila pesada. Nos limites de Atterberg, o teor de água tem como referência a massa seca do solo (ABNT, 2016a, 2016b; ISO, 2018).

Para água, a comparação quantitativa utilizou P2. Para os óleos, foram utilizados P1 e P2. Todas as razões foram recalculadas diretamente a partir das pesagens inicial, intermediária e terminal correspondentes a cada determinação.

Tratamento dos resultados

Os ensaios com líquidos são apresentados como média e desvio-padrão amostral de duas determinações por condição. Secagem e peneiramento possuem uma determinação registrada por amostra. A comparação é descritiva e direcionada à seleção de cargas para desenvolvimento de formulações.

Para a seleção de uma carga fina, o critério principal foi a maior fração passante em 75 µm, representando a disponibilidade de material nessa classe. A perda inicial na secagem e a demanda P2 com os líquidos foram critérios complementares. O caulim Imerys foi mantido como referência comercial; entre as amostras do Amazonas, a seleção considerou também a possibilidade de beneficiamento para usos regionais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perda de massa na secagem e fração passante

Tabela 2. Indicadores físicos das amostras

Amostra	Perda na secagem em base inicial (%)	Passante em 75 µm da massa recuperada (%)
PN1	19,13	10,37
PN2	11,48	11,67
CC	0,36	17,46
IT	38,58	13,72
VSC	2,62	54,56
NSC	3,35	63,66

IM	1,79	42,75

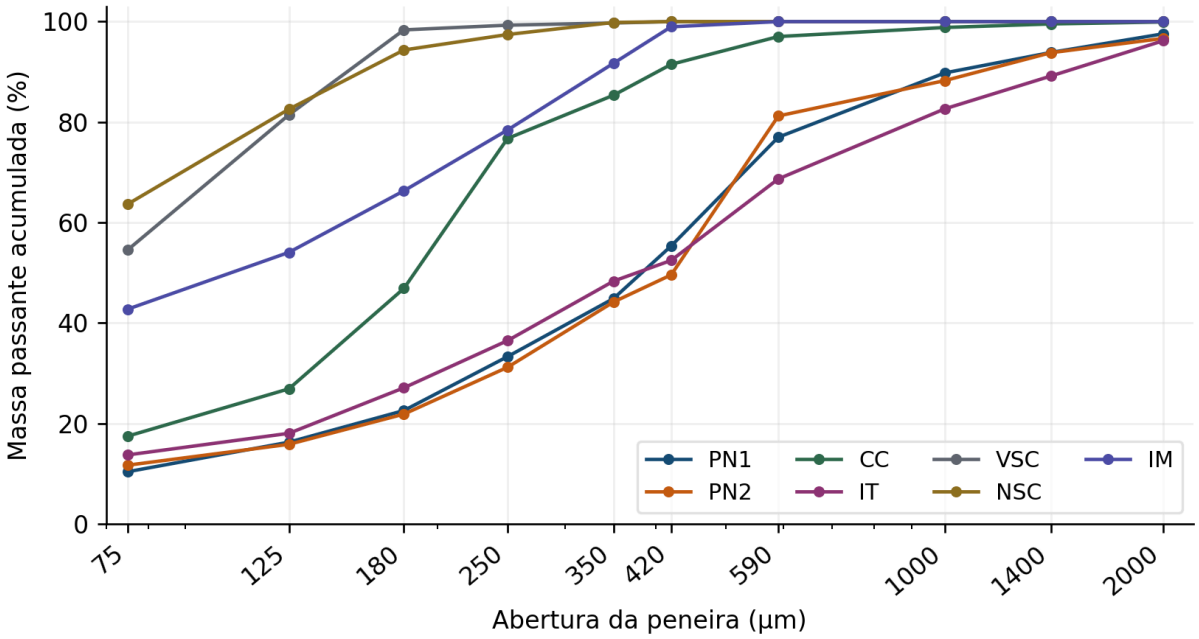
Fonte: Autores (2026).
Nota: Uma determinação registrada por amostra. A perda na secagem usa a massa inicial; o passante usa a massa recuperada no peneiramento.

A perda de massa na secagem apresentou grande variação entre as amostras. O caulim do Careiro apresentou 0,36%, enquanto a argila negra de Itacoatiara apresentou 38,58%. Ponta Negra 1 e Ponta Negra 2 apresentaram, respectivamente, 19,13% e 11,48%. Os valores das amostras verde e negra de Santa Catarina foram 2,62% e 3,35%, e o caulim Imerys apresentou 1,79%. Essa comparação descreve a condição registrada na pesagem inicial e indica que o controle de umidade merece atenção antes da mistura com um polímero.

Essas diferenças orientam o condicionamento antes da formulação. O caulim do Careiro e o Imerys apresentaram pequenas perdas na secagem nos registros analisados, favorecendo sua priorização quando se busca menor remoção inicial de umidade. Para as amostras com maior perda, a secagem oferece uma etapa definida de preparação da carga.

No peneiramento, NSC e VSC apresentaram as maiores frações passantes em 75 µm, de 63,66% e 54,56%, respectivamente. O caulim Imerys apresentou 42,75%, e o caulim do Careiro, 17,46%. As amostras IT, PN2 e PN1 apresentaram, respectivamente, 13,72%, 11,67% e 10,37%. Portanto, na condição de ensaio, as amostras do Amazonas apresentaram maior participação de classes retidas acima de 75 µm que as duas amostras de Santa Catarina.

Figura 2. Distribuição acumulada passante por peneiramento. Percentuais normalizados pela massa recuperada de cada amostra, nas aberturas de 75 a 2000 µm.



Fonte: Autores (2026).

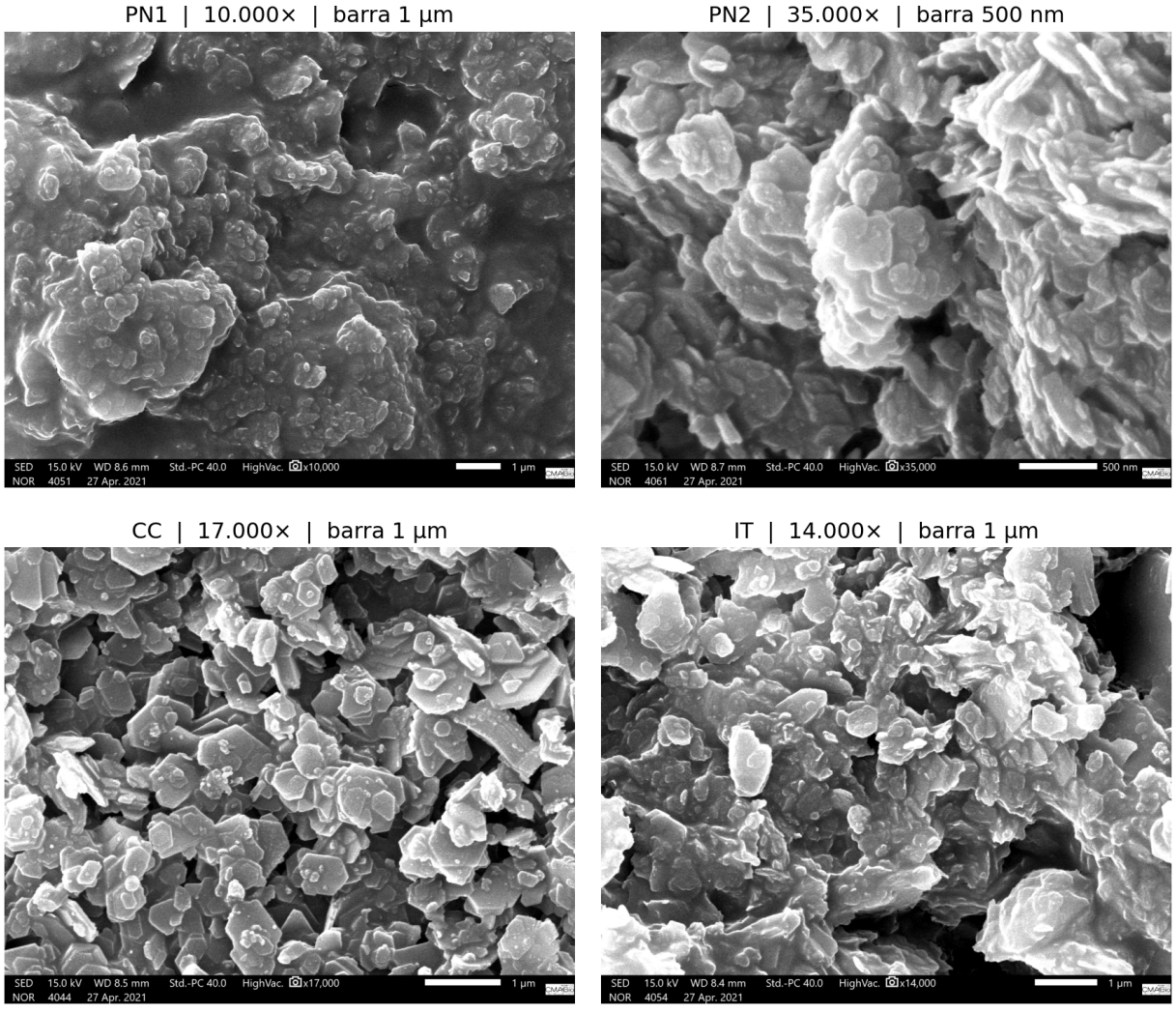
A Figura 2 mostra perfis granulométricos distintos que permitem escolher rotas de preparação. NSC e VSC oferecem maior disponibilidade de fração passante em 75 µm, enquanto as amostras do Amazonas podem ser direcionadas à classificação ou desagregação conforme a dimensão de carga desejada. O MEV complementa essa leitura ao documentar a organização das partículas.

Morfologia das amostras do Amazonas

As micrografias das amostras do Amazonas estão reunidas na Figura 3. PN1 apresenta agregados de superfícies irregulares com partículas menores sobrepostas. PN2 evidencia placas e bordas definidas em maior ampliação. Os dois campos documentam a organização das partículas que deverá ser considerada durante a preparação da carga.

O caulim do Careiro apresenta partículas em placas de contornos aproximadamente poligonais e regiões de empilhamento. A argila negra de Itacoatiara mostra agregados heterogêneos com partículas lamelares e unidades menores distribuídas sobre as superfícies. Esses aspectos oferecem uma base morfológica para explorar as diferenças observadas na demanda de líquidos.

Figura 3. Micrografias das amostras PN1, PN2, CC e IT. As imagens preservam as barras de escala e os registros de aquisição originais.



Fonte: Autores (2026).

A presença de placas e empilhamentos em escala micrométrica, associada às frações retidas no peneiramento, indica a relevância dos agregados no preparo do pó. Essa combinação de observações

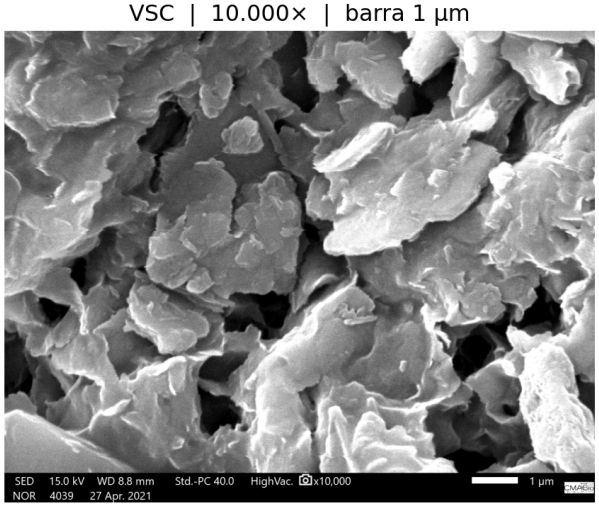
orienta a escolha de processos de classificação e dispersão para cada aplicação.

Morfologia das amostras de Santa Catarina e Imerys

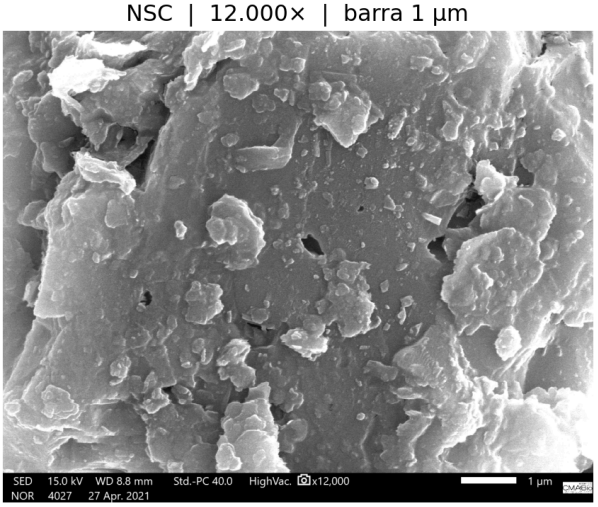
VSC apresenta placas e blocos de aspecto lamelar reunidos em agregados. NSC mostra superfícies extensas com partículas menores sobrepostas e descontinuidades entre regiões dos agregados. No Imerys, observam-se placas empilhadas de contornos definidos. A Figura 4 reúne os campos que caracterizam esses três perfis morfológicos.

Figura 4. Micrografias das amostras VSC, NSC e IM, preservando a imagem completa e a barra de escala de cada campo.

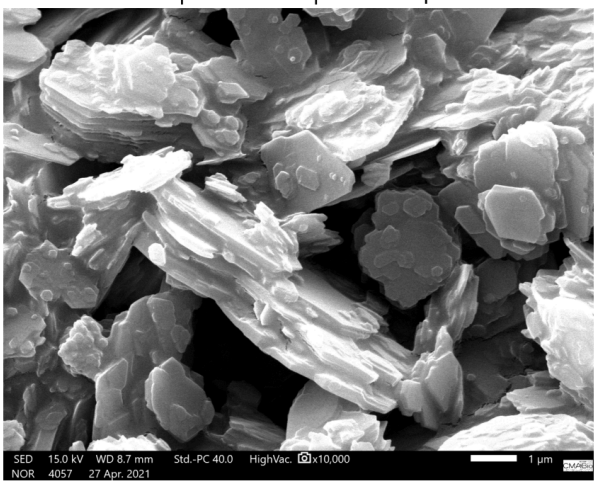
VSC | 10.000× | barra 1 µm



NSC | 12.000× | barra 1 µm



IM | 10.000× | barra 1 µm



Fonte: Autores (2026).

As três amostras combinam morfologia lamelar com expressiva fração passante em 75 µm. Esse conjunto é relevante para preparar cargas classificadas e comparar sua incorporação em matrizes poliméricas. O Imerys oferece uma referência comercial, enquanto NSC e VSC representam alternativas naturais com maior fração fina no peneiramento.

Demanda terminal de água e óleos

Tabela 3. Demanda de líquido no ponto terminal P2 em g/g e % m/m

Amostra	Água	Amêndoa doce	Girassol

PN1	0,763 ± 0,006 g/g 76,3 ± 0,6%	0,622 ± 0,008 g/g 62,2 ± 0,8%	0,682 ± 0,083 g/g 68,2 ± 8,3%
PN2	0,661 ± 0,025 g/g 66,1 ± 2,5%	0,684 ± 0,022 g/g 68,4 ± 2,2%	0,667 ± 0,030 g/g 66,7 ± 3,0%
CC	0,775 ± 0,035 g/g 77,5 ± 3,5%	0,622 ± 0,056 g/g 62,2 ± 5,6%	0,749 ± 0,066 g/g 74,9 ± 6,6%
IT	0,854 ± 0,038 g/g 85,4 ± 3,8%	0,656 ± 0,036 g/g 65,6 ± 3,6%	0,824 ± 0,036 g/g 82,4 ± 3,6%
VSC	0,752 ± 0,025 g/g 75,2 ± 2,5%	0,688 ± 0,015 g/g 68,8 ± 1,5%	0,610 ± 0,062 g/g 61,0 ± 6,2%
NSC	0,658 ± 0,098 g/g 65,8 ± 9,8%	0,696 ± 0,052 g/g 69,6 ± 5,2%	0,623 ± 0,013 g/g 62,3 ± 1,3%
IM	0,692 ± 0,050 g/g 69,2 ± 5,0%	0,720 ± 0,001 g/g 72,0 ± 0,1%	0,669 ± 0,097 g/g 66,9 ± 9,7%

Fonte: Autores (2026).

Nota: Média ± desvio-padrão amostral de duas determinações por condição. Primeira linha: g/g; segunda linha: % m/m em relação à massa de argila pesada, sem correção para base seca. Médias e desvios-padrão em percentual correspondem aos valores em g/g multiplicados por 100.

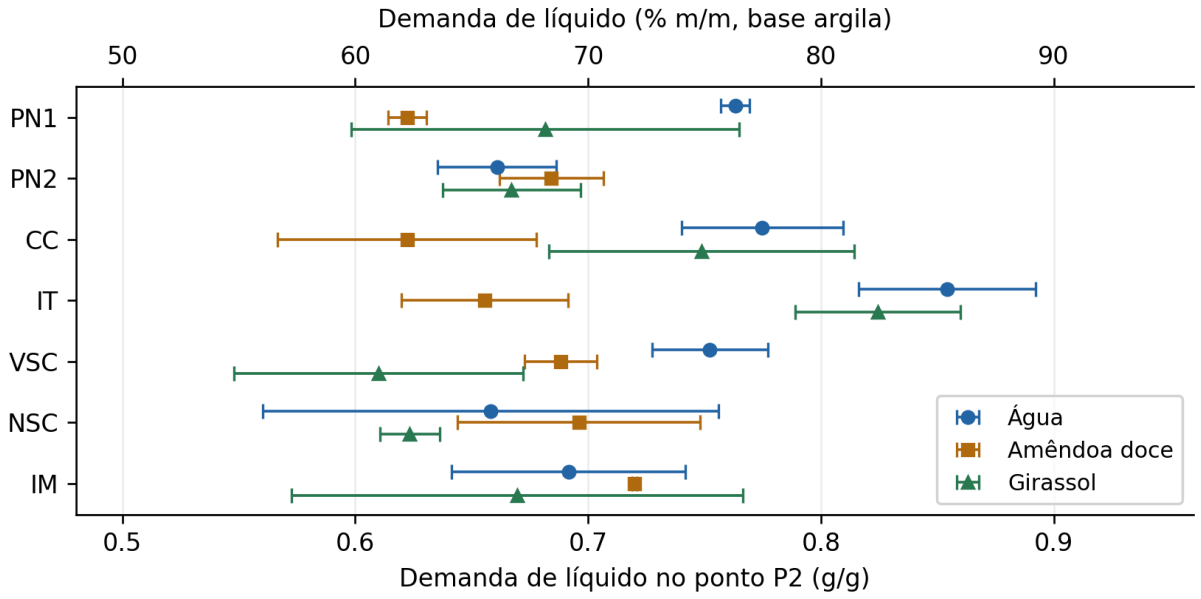
As médias de P2 variaram de 0,658 g/g (65,8 % m/m) em NSC a 0,854 g/g (85,4 % m/m) em IT para água; de 0,622 g/g (62,2 % m/m) em CC e PN1 a 0,720 g/g (72,0 % m/m) em IM para amêndoa doce; e de 0,610 g/g (61,0 % m/m) em VSC a 0,824 g/g (82,4 % m/m) em IT para girassol. Esses intervalos mostram que o conjunto oferece diferentes perfis de interação e demanda de fase líquida.

O Imerys apresentou a maior média com amêndoa doce. A argila negra de Itacoatiara destacou-se com água e girassol, enquanto NSC

e VSC apresentaram menores demandas médias de girassol. Essa diferenciação permite selecionar cargas segundo a finalidade: disponibilidade de fração fina, controle da quantidade de veículo ou investigação de maior incorporação de líquidos.

A relação entre peneiramento e P2 esclarece a seleção. NSC reuniu a maior fração passante em 75 µm e pequena demanda relativa de girassol. VSC combinou elevada fração passante com a menor média nesse óleo. IT, por sua vez, apresentou as maiores médias com água e girassol. Assim, o consumo de líquido complementa a granulometria na escolha da carga.

Figura 5. Demanda terminal P2 com água e óleos em g/g e percentual de massa em relação à argila. Símbolos representam médias e barras horizontais indicam um desvio-padrão amostral de duas determinações por condição.



Fonte: Autores (2026).

Pontos intermediários registrados com os óleos

Tabela 4. Demanda de óleo no ponto intermediário P1 em g/g e % m/m

Amostra	Amêndoa doce	Girassol
PN1	0,333 ± 0,038 g/g 33,3 ± 3,8%	0,416 ± 0,002 g/g 41,6 ± 0,2%
PN2	0,340 ± 0,013 g/g 34,0 ± 1,3%	0,356 ± 0,004 g/g 35,6 ± 0,4%
CC	0,404 ± 0,063 g/g 40,4 ± 6,3%	0,476 ± 0,016 g/g 47,6 ± 1,6%
IT	0,432 ± 0,032 g/g 43,2 ± 3,2%	0,577 ± 0,023 g/g 57,7 ± 2,3%
VSC	0,404 ± 0,007 g/g 40,4 ± 0,7%	0,380 ± 0,057 g/g 38,0 ± 5,7%
NSC	0,406 ± 0,059 g/g 40,6 ± 5,9%	0,396 ± 0,001 g/g 39,6 ± 0,1%
IM	0,415 ± 0,013 g/g 41,5 ± 1,3%	0,404 ± 0,038 g/g 40,4 ± 3,8%

Fonte: Autores (2026).

Nota: Média ± desvio-padrão amostral de duas determinações. P1 representa o ponto operacional intermediário. Primeira linha: g/g; segunda linha: % m/m em relação à massa de argila pesada, calculado pela multiplicação dos valores em g/g por 100.

Em todas as determinações com óleos, P1 foi inferior a P2, acompanhando a sequência de adição do líquido. As médias de P1 variaram de 0,333 a 0,432 g/g (33,3 a 43,2 % m/m) para amêndoa doce e de 0,356 a 0,577 g/g (35,6 a 57,7 % m/m) para girassol. A diferença entre os pontos documenta o intervalo de evolução da mistura e

ajuda a comparar o comportamento das cargas durante a incorporação da fase líquida.

A comparação entre P1 e P2 descreve o líquido adicional introduzido entre os pontos de consistência registrados e auxilia o planejamento de formulações com diferentes consistências. Nesse protocolo, o intervalo constitui um parâmetro operacional de mistura. Os estudos de plasticidade com água (Santana *et al.*, 2010; Nascimento *et al.*, 2012) oferecem o contexto conceitual para relacionar adição de líquido, trabalhabilidade e conformação. Para compósitos poliméricos, os resultados com água e óleos fornecem orientação inicial sobre a quantidade de veículo líquido e as condições de mistura a investigar com a resina ou o polímero de interesse.

Seleção de cargas e aplicações propostas

A argila negra de Santa Catarina foi selecionada como candidata prioritária para a preparação de uma carga fina. Seu diferencial é a disponibilidade de 63,66% de material passante em 75 µm, a maior do conjunto, associada à perda na secagem de 3,35%. As médias de P2 com água e girassol foram, respectivamente, 0,658 e 0,623 g/g (65,8 e 62,3 % m/m). A combinação favorece sua escolha para iniciar formulações opacas em que se priorize a fração fina e uma demanda moderada de fase líquida no ensaio com óleo.

A verde de Santa Catarina constitui a principal alternativa natural a essa seleção. Apresentou 54,56% passante em 75 µm, perda na secagem de 2,62% e a menor média de P2 com girassol, de 0,610 g/g (61,0 % m/m). Os dois materiais são, portanto, candidatos a massas de preenchimento, placas de revestimento e peças moldadas. Para polipropileno, a classificação da carga e a compatibilização oferecem

uma rota de desenvolvimento. Rahman, Hassan e Heidarian (2018) demonstraram a relevância da interface em compósitos de PP com argila, preparados por extrusão e injeção.

O caulim do Careiro é a alternativa prioritária do Amazonas quando o requisito é a baixa perda inicial na secagem e se dispõe de classificação ou desagregação para adequar a carga. Apresentou perda de apenas 0,36% e partículas em placas. Placas e revestimentos em epóxi são rotas pertinentes à continuidade dos estudos com caulim amazônico (Kieling *et al.*, 2023a, 2023b). O Imerys, com perda de 1,79% e 42,75% passante em 75 µm, é uma referência comercial para formulações claras. O uso de caulins selecionados como cargas em adesivos e massas industriais também é documentado pelo fabricante KaMin ([s. d.]).

A negra de Itacoatiara apresentou o perfil de maior demanda de água e girassol. Esse comportamento motiva uma linha complementar de pesquisa com misturas ricas em fase líquida e materiais híbridos porosos. Na literatura, Hubadillah *et al.* (2018) desenvolveram membranas à base de caulim com modificação superficial para separação de óleo e água. Essa aplicação estabelece uma rota de pesquisa em que as argilas do presente estudo podem ser investigadas por ensaios específicos de sorção, molhabilidade e separação.

PN1 e PN2 integram as possibilidades de aproveitamento regional em massas e peças moldadas com preparação granulométrica definida. Suas frações passantes de 10,37% e 11,67% indicam que a seleção deve contemplar secagem, desagregação e classificação para a dimensão de carga prevista na formulação. A Tabela 5 organiza as prioridades e as aplicações propostas para o conjunto.

Tabela 5. Priorização das argilas e rotas de aplicação em compósitos

Argila	Base de seleção nos dados	Aplicações propostas para desenvolvimento
NSC	Maior fração < 75 µm; baixa demanda relativa de água e girassol.	Prioridade para massas epóxi opacas, placas de revestimento e peças moldadas.
VSC	54,56% passante; menor média de P2 com girassol.	Alternativa para cargas finas em massas e compósitos moldados; PP após adequação da interface.
CC e IM	CC: perda de 0,36%. IM: perda de 1,79% e 42,75% passante.	CC como alternativa do Amazonas; IM como referência para compósitos claros, revestimentos e massas adesivas.
IT	Maiores médias de P2 com água e girassol.	Misturas ricas em fase líquida e pesquisa de compósitos porosos para interação com fluidos.
PN1 e PN2	Frações passantes de 10,37% e 11,67%.	Massas de enchimento e peças moldadas após preparação granulométrica definida.

Fonte: Autores (2026).

Nota: Rotas de aplicação fundamentadas em (Kieling *et al.*, 2023a, 2023b; Rahman; Hassan; Heidarian, 2018; KaMin, [s. d.]; Hubadillah *et al.*, 2018). A priorização se refere ao perfil da carga; as aplicações são propostas de desenvolvimento.

A seleção é descritiva e baseada nos pós caracterizados: uma determinação de secagem e peneiramento e duas por condição de contato com líquidos. P1 e P2 medem demanda operacional, não uma capacidade de adsorção em equilíbrio. As aplicações propostas serão definidas pela formulação e pela avaliação das propriedades do compósito resultante.

5. CONCLUSÕES

A caracterização integrada permitiu selecionar perfis de argila para diferentes rotas de compósitos. Para a preparação de uma carga fina, a argila negra de Santa Catarina foi a candidata prioritária, por reunir a maior fração passante em 75 µm, de 63,66%, perda na secagem de 3,35% e demanda de girassol de 0,623 g/g (62,3 % m/m). A verde de Santa Catarina constituiu uma alternativa próxima, com 54,56% de fração passante e a menor média de P2 com girassol, de 0,610 g/g (61,0 % m/m).

O caulim do Careiro destacou-se entre as alternativas do Amazonas quando o critério é a baixa perda inicial na secagem, de 0,36%. Sua morfologia em placas e as aplicações já estudadas para caulim amazônico sustentam sua priorização regional para cargas classificadas. O Imerys apresentou perda de 1,79% e 42,75% de material passante em 75 µm, compondo uma referência comercial para comparar formulações claras.

A negra de Itacoatiara apresentou as maiores médias de demanda terminal com água, de 0,854 g/g (85,4 % m/m), e girassol, de 0,824 g/g (82,4 % m/m), constituindo o principal destaque do conjunto para investigar maior incorporação de líquidos em misturas. PN1 e PN2 ampliam as opções regionais para aplicações com preparação granulométrica específica.

As rotas prioritárias de desenvolvimento são massas de preenchimento, revestimentos opacos ou claros, placas e peças moldadas, além de compósitos termoplásticos após adequação da carga e da interface. O estudo oferece critérios de seleção baseados

nas características dos pós e organiza o avanço para formulações em matrizes específicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ABNT NBR 6459:2016: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016a.

ABNT. ABNT NBR 7180:2016: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016b.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D281-12(2021): Standard Test Method for Oil Absorption of Pigments by Spatula Rub-out. West Conshohocken: ASTM International, 2021. DOI: 10.1520/D0281-12R21.

HUBADILLAH, S. K. *et al.* A low cost, superhydrophobic and superoleophilic hybrid kaolin-based hollow fibre membrane (KHFM) for efficient adsorption-separation of oil removal from water. RSC Advances, v. 8, n. 6, p. 2986-2995, 2018. DOI: 10.1039/C7RA13206A.

ISO. ISO 17892-12:2018: Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of liquid and plastic limits. Genebra: International Organization for Standardization, 2018. Disponível em: https://www.iso.org/standard/72017.html. Acesso em: 4 nov. 2026.

IUPAC. Adsorption. In: Compendium of Chemical Terminology, 5. ed., versão on-line 5.0.0, 2025a. DOI: 10.1351/goldbook.A00155. Disponível em: https://goldbook.iupac.org/terms/view/A00155. Acesso em: 2 nov. 2026.

IUPAC. Sorption. In: Compendium of Chemical Terminology, 5. ed., versão on-line 5.0.0, 2025b. DOI: 10.1351/goldbook.S05769. Disponível em: https://goldbook.iupac.org/terms/view/S05769. Acesso em: 2 nov. 2026.

KAMIN. Adhesives. [S. l.]: KaMin, [s. d.]. Disponível em: https://www.kamin.com/solutions/applications/adhesives. Acesso em: 2 nov. 2026.

KIELING, A. C. *et al.* Development of an Epoxy Matrix Hybrid Composite with Astrocaryum Aculeatum (Tucumã) Endocarp and Kaolin from the Amazonas State in Brazil. Polymers, v. 15, n. 11, artigo 2532, 2023a. DOI: 10.3390/polym15112532.

KIELING, A. C. *et al.* Epoxy-based hybrid composites reinforced with Amazonian Tucumã endocarp and kaolin: A statistical approach to mechanical properties. Materialia, v. 30, artigo 101808, 2023b. DOI: 10.1016/j.mtla.2023.101808.

KOJIMA, Y. *et al.* Mechanical properties of nylon 6-clay hybrid. Journal of Materials Research, v. 8, n. 5, p. 1185-1189, 1993. DOI: 10.1557/JMR.1993.1185.

LIU, W.; HOA, S. V.; PUGH, M. Water uptake of epoxy-clay nanocomposites: Experiments and model validation. Composites Science and Technology, v. 68, n. 9, p. 2066-2072, 2008. DOI: 10.1016/j.compscitech.2007.07.024.

NASCIMENTO, A. S. do *et al.* Determinação rápida da plasticidade de argilas: comparação entre os métodos Casagrande e Pfefferkorn. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 56., 2012, Curitiba. Anais. 2012. p. 914-922.

RAHMAN, N. A.; HASSAN, A.; HEIDARIAN, J. Effect of compatibiliser on the properties of polypropylene/glass fibre/nanoclay composites. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 28, n. 2, p. 103-111, 2018. DOI: 10.1590/0104-1428.2357.

SANTANA, L. N. L. *et al.* Métodos para determinação da plasticidade de argilas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 54., 2010, Foz do Iguaçu. Anais. 2010. p. 767-776.

SU, L.; FANG, C.; LUO, H. Functionalized montmorillonite/epoxy resin nanocomposites with enhanced thermal and mechanical properties. RSC Advances, v. 14, p. 31251-31258, 2024. DOI: 10.1039/D4RA03125C.

THOMMES, M. *et al.* Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, v. 87, n. 9-10, p. 1051-1069, 2015. DOI: 10.1515/pac-2014-1117.

---

[1] Professor e cientista pesquisador da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Doutor em Biotecnologia (UFAM). Endereço do autor para correspondência: Escola Superior de Tecnologia, Avenida Darcy Vargas-1200, Parque 10 de Novembro, Manaus-AM, CEP 69050-020, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[2] Doutor em Engenharia Mecânica (USP) e professor da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.

[3] Doutor em Engenharia Mecânica (USP) e professor da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). E-mail: acesse o artigo

original para visualizar o e-mail.

[4] Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade de Annaba (Argélia). Professor da Université 8 Mai 1945 Guelma, Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (LMANM), Guelma, Argélia. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail.