

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO VALE HISTÓRICO PAULISTA, BRASIL

Andrea Cavicchioli¹; Guillermo Rolón²; Lauro Maia Cavalcanti³; Joseane Fontaine³;

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, Brasil, andrecav@usp.br

²CRIATIC - Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda, Conicet, Argentina, guillerolon02@gmail.com

³Instituto Socioambiental RPPN Fazenda Catadupa, Brasil, lauro@valehoteis.com.br; joseanefontaine@hotmail.com

Palavras-chave: Vale Histórico Paulista, argamassas, latossolo vermelho-amarelo, terra de formigueiro, terra de cupinzeiro.

Resumo

Vale Histórico Paulista é o termo com o qual hoje se designa uma importante região ligada ao surgimento da cafeicultura no Brasil no XIX século, no trecho paulista da bacia do Rio Paraíba de Sul. O patrimônio arquitetônico construído do Vale Histórico apresenta, geralmente, condições de conservação prejudicadas pela ação dos agentes climáticos e, por causa disso, a preservação e o restauro das argamassas de revestimento e a busca de materiais compatíveis e resistentes é um objetivo fundamental. A finalidade desse trabalho foi desenvolver e testar formulações de argamassas baseadas no uso de matérias primas locais, incluindo terra de diversas fontes (inclusive terras extraídas de montículos de formigueiro e de cupinzeiro), fibras e extratos vegetais. Dentre todas as formulações testadas, as argamassas baseadas no uso de terra de cupinzeiro apresentaram propriedades de adesão e resistência à ação da água significativamente superiores aos demais tipos de terra, mostrando vantagem adicional na inclusão na formulação do extrato aquoso (mucilagem) do cacto do gênero *Opuntia*.

INTRODUÇÃO

No Brasil, todas as principais técnicas de arquitetura com terra, herança da tradição ibérica (taipa de pilão, adobe e pau-a-pique) estiveram amplamente presentes durante o período colonial. Esse é o caso, também, do estado de São Paulo, muito embora aqui a técnica da taipa de pilão tenha de certa forma se sobressaído com relação ao adobe, muito mais presente em outras regiões do país. Esse fato está refletido na proporção de construções históricas (igrejas, capelas, solares, casarões, fazendas, casas bandeiristas) feitas com a utilização das duas técnicas nesse território. Uma exceção bastante significativa a essa tendência pode ser encontrada no Vale do Rio Paraíba do Sul, palco da introdução da cultura do café no século XIX e local por excelência de sua produção entre 1820 e 1880. Nessa região, as três técnicas de construção com terra coexistem, fato que se deve possivelmente à influência de imigrantes mineiros que, esgotado o ciclo do ouro, começaram a descer a Estrada Real rumo ao litoral e se instalaram nas margens do Caminho Novo da Piedade contribuindo de maneira determinante para a implantação do café no Brasil.

Vale Histórico Paulista

Com a expressão Vale Histórico Paulista, designa-se hoje a região correspondente aos municípios de Queluz, Silveiras, Areias, São José do Barreiro, Arapeí e Bananal, na bacia paulista do Rio Paraíba do Sul cravada na porção nordeste do estado de São Paulo, na divisa com o Rio de Janeiro e Minas Gerais (Figura 1).

Essa expressão foi claramente cunhada em época recente e indica a área de desenvolvimento do primeiro ciclo do café ao longo do trecho paulista do Caminho Novo da Piedade, a estrada que a partir da segunda metade do século XVIII veio a ligar a província

de São Paulo com a capital da colônia (Carrilho, 2006).

As circunstâncias que levaram à escolha dessa região, tanto no Rio de Janeiro como em São Paulo, são debatidas por vários autores (ex. Hollanda, 1975). O fato é que, no século XIX, durante algumas décadas nesse Vale se produziu a maior parte de todo o café que foi comercializado pelo mundo afora e isso foi motivo do acúmulo de enormes riquezas por partes dos cafeicultores locais (Carrilho, 2006).

Com isso, a região passou a ter um expressivo nível de desenvolvimento que redundou na ampliação dos centros urbanos – sobretudo Bananal – e na construção de refinadas residências, urbanas e rurais, daqueles que logo viriam a adquirir o título de *Barões do Café*. Literalmente, pois suas fartas contribuições para os cofres do estado e sua influência política induziram a coroa imperial à efetiva outorga de títulos nobiliárquicos.

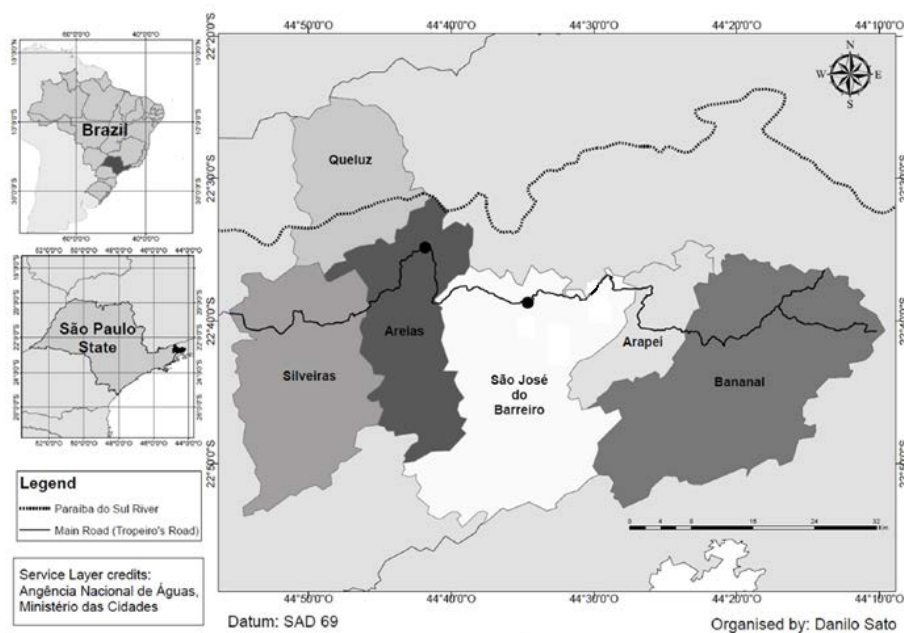


Figura 1. Localização do Vale Histórico Paulista (Fonte: Fazio et al. 2015)

Toda essa pujança social e econômica teve um ciclo relativamente curto e, no final do século XIX, a região sofreu um rápido declínio, tendo como principais causas o fim da escravidão, a perda de fertilidade do solo e a consequente migração das lavouras do café para o oeste do estado. Os impactos foram tão intensos e a decadência tão marcante que o escritor Monteiro Lobato se refere a esses distritos como a *Cidades Mortas*, no livro homônimo (2009).

A herança do ciclo do café é constituída pelos remanescentes das construções erguidas naquela época, objeto de um levantamento detalhado em recente trabalho (Cavicchioli et al., 2013). Destacam-se as sedes de várias fazendas, onde a técnica de eleição foi o adobe, igrejas (essencialmente taipa de pilão) e outros tipos de edificações urbanas onde se encontram todas as três técnicas (em determinados casos, simultaneamente na mesma construção, como no Solar Aguiar Valim em Bananal). Nas cidades, a taipa tende a predominar nos municípios mais ao oeste (Queluz e Areias) e o adobe mais em Bananal, ao leste.

Atualmente, devido sobretudo às condições de empobrecimento econômico da região e de abandono – nunca realmente amenizadas por adequadas iniciativas do poder público – não há dúvida de que a situação de conservação da grande maioria das construções históricas seja de precariedade, quando não mesmo de sérios riscos de perdas, em determinados casos até bastante iminentes. A isso se soma o substancial esquecimento dos saberes tradicionais de construção conjugado com formas evidentes de desconhecimento de preceitos primários de conservação e restauro, explicitando-se frequentemente em intervenções equivocadas e prejudiciais.

Nesse quadro, parece evidente a importância de se avançar em pesquisas científicas voltadas para o tema das argamassas de revestimento que desempenham um papel fundamental nos mecanismos de preservação das edificações com terra, tendo particularmente em vista o fato desse elemento arquitetônico ser um daqueles onde se concretizam com mais frequência ações desacertadas em processos de restauro.

Argamassas de revestimento

Pode-se definir as argamassas de revestimento seguindo a ABNT/NBR 13529 (Gomes, 1995) como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Seu uso, nos dias de hoje, visto como uma prática normal e até no olhar contemporâneo das construções históricas seu emprego muitas vezes é dado como óbvio e natural. Contudo, não há consenso a respeito de sempre haver existido a necessidade deste revestimento de argamassa de proteção para as paredes das construções em terra e tampouco existe uma opinião absoluta com relação a quando essa prática tenha surgido e se estabelecido (Oliveira, 1959 apud Gomes, 1995).

De todo modo, hoje a tendência é reconhecer a importância que as argamassas para revestimentos exercem na proteção das edificações em terra, principalmente em regiões de clima tropical como o Brasil. Houben e Guillaud (1989, apud Mattaraia e Ino, 2002. p.1269) já alertavam para esta necessidade quando escreviam que

em todas as regiões onde o clima é caracterizado por uma pluviometria elevada e por chuvas que incidem quase horizontalmente, os revestimentos protetores são indispensáveis. Esta disposição é imperativa para regiões onde as vicissitudes do clima são associadas a uma tradição arquitetural que negligencia as proteções da base e do topo da parede.

Entretanto, no caso da arquitetura com terra, essa tendência não parece, em muitos casos, vir acompanhada da preocupação com as efetivas propriedades das argamassas usadas e, em particular, com seu desempenho com relação às características intrínsecas dos materiais usados nos demais elementos arquitetônicos, notadamente as paredes construídas com algumas das técnicas de terra. É um fato amplamente observado e relatado na literatura (Mattaraia, Ino, 2002) de que, hoje em dia, é comum adotar o uso de materiais baseados na mistura de cimento e areia, ainda que estudos indiquem ser essa solução não compatível com o substrato, provocando patologias ainda piores do que podem ocorrer sem o reboco. O cimento, em particular, por ter propriedades físicas bastante distintas (p. ex. coeficientes de retração e dilação), tende a descolar facilmente e arrastar pedaços da alvenaria de terra.

Se, por outro lado, na prática do restauro tende-se a adotar soluções empíricas e composições determinadas a partir de conhecimento atuais, por outro poucos são os registros a respeito da proporção dos materiais empregados nas argamassas tradicionais, sobretudo no que tange ao aglomerante usado. No Brasil, utilizou-se a cal de conchas marinhas desde os primeiros tempos de colonização, nas argamassas e revestimentos de construção principalmente no litoral, no entanto, historiadores e pesquisadores como Oliveira (1959, apud Gomes, 1995) e Coutinho (1973, apud Gomes, 1995) afirmam e acreditam ser a argila a principal escolha como aglomerante, sobretudo devido à dificuldade em se conseguir conchas marinhas para a obtenção de cal em regiões afastadas do litoral brasileiro. Em particular, os resultados das análises do NTPR (Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração) baseadas em centenas de amostras de antigas argamassas, indicam que, no Brasil, desde o século XVI até o início do século XX, oitenta por cento (80%) das argamassas eram *bastardas*, ou seja, aquelas que contêm argilominerais na sua composição (Oliveira, 1995, apud Gomes, 1995).

Apesar dessas constatações, raras também são as pesquisas que versam sobre o assunto e esse vácuo de estudos mais aprofundados acarretam em uma ausência de segurança por

parte de quem se encontra na necessidade de escolher soluções de restauro de edificações históricas, facilitando a opção por saídas equivocadas e inapropriadas. Cabe destacar que o objetivo não é necessariamente a reprodução de receitas originais, mas sim de formulações testadas e verificadas tanto nos aspectos de resistência aos fatores de agressão quanto de compatibilidade com os materiais estruturais que, esses sim, precisam ser preservados em sua integridade.

Terra de cupinzeiro

O uso de terra extraída de ninhos de insetos sociais como cupins e formigas como matéria prima para uso em restauro de construções com terra não é original. Além de alguns relatos de literatura (p. ex., Pereira, 2008), os moradores das regiões rurais que lidam com esse tipo de técnicas mencionam com certa frequência essa prática.

No tocante aos cupins, esses são insetos da ordem dos isópteros geralmente conhecidos por se alimentarem da madeira para seu metabolismo. Especificamente, os cupins da terra ou cupins do pasto (*Cornitermes cumulans*) se destacam nas regiões rurais por construírem seus ninhos em forma de montículos de terra em áreas de campo aberto, geralmente usadas para pastagem. Nesse processo, esses insetos provocam alterações substanciais das características químicas, físicas e biológica das partículas de solo, um processo considerado como uma estratégia para se defenderem do ataque de outros organismos predadores, fato que lhes fez merecer o apelido de engenheiros do solo (Jouquet et al, 2016). Uma das características da tática de construção de ninhos por parte dos cupins é o emprego de matéria fecal ou saliva como aglutinador de partículas. Os que usam saliva são os cupins que criam fungos (*fungi feeding termites*) e esses estão concentrados na África e no Sudeste asiático, fato que faz presumir que as espécies presentes na região do Vale Histórico devem ser dos grupos que se alimentam de solo ou madeira (*wood and soil feeding termites*) e que usam matéria fecal como aglutinante. Além disso, outro aspecto a ser considerado na relação entre os cupins e o solo é a atuação desses insetos na alteração ou reorganização da própria estrutura da terra, de maneira a torná-la mais adequada para a construção dos túneis subterrâneos e dos montículos. Geralmente, isso se dá na forma de um enriquecimento partículas argilosas e de matéria orgânica, inclusive tendo como um dos resultados finais uma maior resistência à água das estruturas expostas ao relento.

De acordo com o estudo sobre o tema baseado em algumas espécies de *soil-feeding termites* (Contour-Ansel et al. 2000), nos montículos foram encontradas quantidades elevadas de polissacarídeos, não encontrados em ninhos de cupins *fungi feeding*. Isso induziu a concluir que tais polissacarídeos são o produto de matéria vegetal ingerida e digerida pelos cupins com o auxílio de enzimas de bactérias residentes no aparato digestivo desses insetos. Os polissacarídeos investigados foram caracterizados por seus produtos de hidrólise, entre os quais se detectou quantidades de estaquiose, manose, galactose, maltose, xilose e arabinose superiores às aquelas presentes em solos não tratados pelos cupins. De acordo com os autores, tais polissacarídeos são solúveis em meio ácido e em água quente e apresentam interação potencial com diversos componentes do solo (argilas e ácidos húmicos e fúlvico). Pereira (2008) destaca com muita pertinência que essa matéria orgânica deve apresentar em sua composição também substância peptídica e material lignínico não digerido.

É interessante observar que, hoje em dia, muitos textos e pesquisas em português citam o uso de baba de *cupim* como aditivo de materiais para uso em construção civil, referindo-se com essa expressão a misturas comerciais de extratos orgânicos de origem vegetal, tais como óleos, resinas e extratos aquosos de plantas suculentas e cactos (Pereira, 2008). Trata-se, claramente, de substâncias não realmente obtidas a partir dos cupins, mas que, possivelmente, apresentam em sua composição (entre outras) espécies químicas da mesma natureza que aquelas que, aparentemente, estão efetivamente presentes nas estruturas dos ninhos desses isópteros.

Uso de extratos vegetais como aditivos em construção civil

A literatura sobre o uso de extratos vegetais, em particular de cactos, como aditivo em construção civil foi discutido, entre outros, por Oliveira, Sawitzki e Fonseca (2005) e por Magalhães e Almeida (2010), em ambos os casos com uma revisão da literatura disponível.

Em particular, Oliveira, Sawitzki e Fonseca (2005) sustentam a hipótese do uso recorrente de seivas de cactos nas argamassas nos países latino-americanos durante o período colonial e com base nisso pesquisa no seu resgate na composição das argamassas.

As informações disponíveis indicam que ainda existem questionamentos sobre a efetiva contribuição desse tipo de aditivo, mas em geral há certo consenso sobre seu papel na melhora do desempenho mecânica das argamassas e sua resistência à absorção de água. Resultados empíricos nesse sentido foram apresentados por ambos os autores citados e suas fontes.

A composição da mucilagem de cactos inclui polissacarídeos, açúcares livres e proteínas, assim como no caso dos agregantes orgânicos encontrados na terra de cupinzeiro- o que, por um lado, explicaria o efeito de estabilização de argamassas de terra e, por outro, está em consonância com a viscosidade desses extractos e os métodos de obtenção utilizados. Para essa finalidade, utiliza-se procedimento de imersão a frio durante várias horas ou a quente por alguns minutos, eventualmente acompanhados por procedimentos mecânicos de esmagamento.

OBJETIVO

O patrimônio arquitetônico construído do Vale Histórico apresenta, geralmente, condições de conservação prejudicadas pela ação dos agentes climáticos. Nesse sentido, a preservação e o restauro das argamassas de revestimento e a busca de materiais compatíveis e resistentes é uma tarefa fundamental. O objetivo desse trabalho foi desenvolver e testar formulações de argamassas baseadas no uso de matérias primas locais, incluindo terra de diversas fontes, fibras e extratos vegetais impermeabilizantes.

METODOLOGIA ADOTADA

Nesse trabalho, objetivou-se realizar uma avaliação preliminar da adequação, para uso como argamassas de revestimento, de formulações baseadas no emprego de fontes alternativas de matérias primas argilosas, a dizer, terras extraídas de ninhos (montículos) de formigas (doravante chamada *terra de formigueiro*) e de cupins de pasto (*terra de cupinzeiro*). As dosagens dos diversos ingredientes na formulação foram definidas com base em recomendações de literatura e envolveram também o uso de fibras vegetais e do extrato aquoso de um cacto suculento (*mucilagem*). Todas as matérias primas são muito abundantes no Vale Histórico Paulista e foram retiradas diretamente de uma única área do distrito de Formoso no município de São José do Barreiro (SP).

Matérias-primas

- Terra comum

Para fins de comparação, um conjunto de amostras de argamassa foi realizado utilizando sub-solo (*terra comum*) extraído nas proximidades da Fazenda Catadupa (localização: 22°39'54.54"S, 44°31'54.10"O, altitude 600m), região caracterizada por um solo latossolo vermelho-amarelo desenvolvido de rochas cristalinas e depósitos coluviais (Ab'Saber, 1966; RadamBrasil, 1983). Antes do uso, essa terra foi peneirada em malhas de 1,41 mm. Teste granulométrico, realizado junto ao Laboratório de Caracterização de Rochas de Sistemas Petrolíferos do Instituto de Energia e Ambiente (USP) por um analisador de distribuição de tamanho de partículas (S3550, versão Bluewave 1, marca Microtrac), resultou nas seguintes proporções: 13% de areia, 77% de silte e 10% de argila.

- Terra de formigueiro e de cupinzeiro

Esses substratos foram extraídos diretamente de montículos de formigas e cupins de pasto (família *Termitidae*) presentes na mesma área e foram tratado e analisados previamente da mesma forma que a terra comum, apresentando as seguintes granulometrias:

- terra de formigueiro: 23% de areia, 63% de silte e 14% de argila
- terra de cupinzeiro: 7% de areia, 82% de silte e 11% de argila

- Areia

A areia usada na formulação de argamassa foi um produto comercial de origem fluvial que, antes do uso, foi lavada com água e peneirada em malha de 0,425 mm.

- Fibras vegetais

Fibras vegetais foram obtidas a partir de uma gramínea comum da região e recolhida em quantidade suficiente. As fibras foram picotadas manualmente com uma faca em segmentos de 2-4 cm e ressecadas ao ar a temperatura ambiente durante alguns dias.

- Mucilagem

A extração da mucilagem foi realizada a partir de exemplares do cacto suculento do gênero *Opuntia*, cuja identificação mais provável seja *O. monacantha*. A extração ocorreu por simples imersão em água fria de ramos da planta cortados em pedaços de 4-5 cm no período de 60h e na proporção de 1:1 (em volume) de água:massa vegetal. No final desse período, a mucilagem foi filtrada e usada imediatamente.

Composição das argamassas

Para a preparação das argamassas, as terras foram todas individualmente misturadas com areia na proporção de 1 volume de terra para 2 volumes de areia. Essas misturas base foram usadas como ponto de partida para elaborar três variantes distintas (Tabela 1) de acordo com o ensaio previsto. Em particular, a variante 1 não levou mucilagem por se entender que, para o teste de aderência, esse ingrediente não afetaria o desempenho da argamassa. Já, seguindo uma argumentação parecida, as fibras vegetais não foram utilizadas nos ensaios úmidos. Nesse conjunto de testes, o efeito da mucilagem foi avaliado comparando-se o desempenhos de argamassas contendo (variante 2) ou não (variante 3) a mucilagem.

Tabela 1. Variantes da formulação de argamassa usadas nos ensaios

	Volume de mistura base de terra*/areia	Volume de fibras**	Volume de mucilagem	Ensaio em que foi utilizada
Variante 1	1	1/3	0	Teste de aderência
Variante 2	1	0	1/3	Ensaio úmido
Variante 3	1	0	0	Ensaio úmido

*Para todas as variantes, sempre se preparou três conjuntos de argamassas, cada um baseado num tipo de terra (terra comum, terra de formigueiro e terra de cupinzeiro).

**Antes de usar as fibras, essas (já misturadas com a terra) foram hidratadas com o dobro de volume de água. O solvente foi deixado evaporar por completo durante 30 dias e a mistura resultante re-hidratada para o preparo das camadas de argamassa

Ensaio de aderência

O teste de aderência foi tomado de Minke (2012) e adaptado. O procedimento adaptado consistiu em umidificar as argamassas (variante 1) e aplicar manualmente, com a ajuda de uma colher de pedreiro, camadas de aproximadamente 2 cm de espessura na face de maior superfície de um tijolo maciço industrializado de argila vermelha de 22,5x10,5x5,5 cm, previamente molhado por imersão em água. A umidificação das argamassas para a

aplicação foi controlada cuidadosamente de acordo com as recomendações de Neves et al. (2010). Os corpos de prova, todos preparados em triplicata, foram deixados secando ao ar a temperatura ambiente e de pé durante 15 dias. Ao final desse período, o desempenho de cada argamassa pronta foi avaliado em função de três parâmetros:

- Se houve colapso da camada depositada;
- Se houve formação de trincas e rachaduras e em que tamanho e proporção;
- Resposta a aplicação de leves marteladas aplicadas à superfície das argamassas.

Ensaio úmidos

Para avaliar a resposta das formulações de argamassa aos potenciais efeitos prejudiciais da água e da umidade do ar, foram propostos e realizados dois ensaios: o teste de absorção por contato e o teste de resistência à erosão.

- **Teste de absorção por contato**

Usou-se as misturas umidificadas das variantes 2 e 3 para realizar corpos de prova cilíndricos (8,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro) por meio de moldes específicos em aço, posteriormente deixados secar ao ar livre a temperatura ambiente durante 60 dias apoiados numa superfície plana ligeiramente lubrificada com óleo mineral. Passado esse período, a superfície lateral dos cilindros foi revestida com uma fina camada de um verniz impermeabilizante. Estando o verniz completamente seco, os corpos de prova foram deixados na estufa a 90 °C durante 24h, resfriado em dessecador, pesado e revestido em sua superfície lateral por uma folha de alumínio – visando minimizar as trocas de vapor de água com o ar circundante – e em sua face superior (a que não entrou em contato com o óleo) por papel de filtro, preso lateralmente por fita adesiva isolante. A esse ponto, após nova pesagem, cada agregado de argamassa foi parcialmente mergulhado em água destilada numa altura de 1 cm pelo lado da face coberta com o filtro e medidas da absorção de água foram realizadas, por pesagem, a intervalo de tempo pré-determinados.

- **Teste de resistência à erosão**

Para realizar os corpos de prova para esse ensaio, procedeu-se exatamente como no caso anterior, com a diferença que os cilindros foram moldados em tamanhos de 2,5 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro. Passado o período de secagem, os agregados de argamassa foram posicionados em baixo de gotejadores de água montados a partir de buretas convencionais de laboratório de 50 mL, dotadas de torneiras para o ajuste da vazão. O ponto de gotejamento estava a uma distância de 150 cm acima dos corpos de prova. O ensaio consistiu em gotejar água destilada em cima dos agregados a uma vazão constante de aproximadamente 1 gota/s e cronometrar o tempo necessário para provocar um furo completo no corpo de prova. Devido às diferenças intrínsecas de cada bureta, notaram-se variações no tamanho das gotas nos sistemas de gotejamento. Assim, para compensar eventuais efeitos decorrentes de tais diferenças, os tamanhos das gotas foram estimados através da coleta e pesagem de um conjunto fixo de gotas em cada aparelhagem e levados em consideração na interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados do ensaio de aderência

A avaliação dos corpos de prova foi realizada após o período de 15 dias e ao final desse período observou-se que nenhum deles apresentava quaisquer sinais de rachadura nem trincas de menores dimensões.

Em seguida, procedeu-se ao teste aderência propriamente dito por meio de marteladas de leve intensidade realizadas com o máximo de igualdade de força aplicada e os resultados estão sumarizados no gráfico da Figura 2. O gráfico representa o número de batidas aplicadas a cada superfície até seu colapso: no caso dos corpos de prova destacados com

um asterisco (*) não houve queda da camada de argamassa nem perdas de material e isso se deu com todos os sistemas que receberam até 30 marteladas.

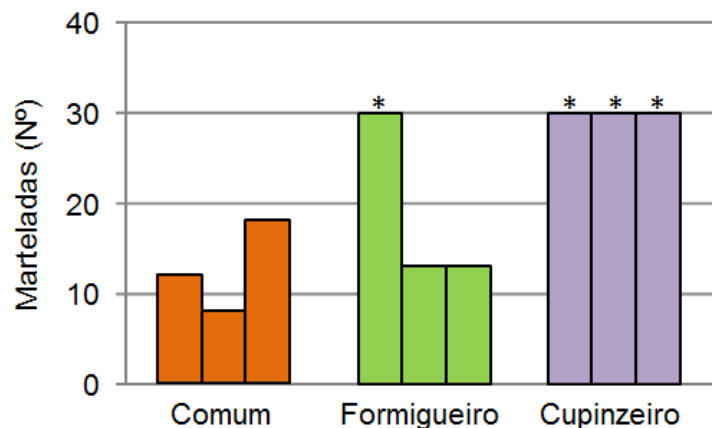


Figura 2. Resultados do ensaio de aderência por marteladas

Observa-se claramente que somente as argamassas realizadas a partir de terra de cupinzeiro tiveram 100% de eficiência no teste, demonstrando o melhor desempenho nesse aspecto avaliado. Na percepção pessoal dos autores, ficou bastante evidente a fragilidade das argamassas de terra comum e de formigueiro e a boa robustez das camadas baseadas em terra de cupinzeiro que, ademais, mantiveram sua estabilidade nas semanas posteriores à realização do ensaio na mesma posição vertical.

É possível que o emprego de tijolos industrializados – com superfície particularmente lisa e, de um modo geral, propriedades bastante distintas das superfícies das alvenarias com terra – possa ter tido um papel no resultado insatisfatório da terra comum e da terra de formigueiro. Destarte, a adequação dessa formulação com esses materiais não precisa necessariamente ser descartada e deverá ser objeto de uma avaliação mais aprofundada, eventualmente com ajustes na composição (por exemplo, com a verificação de um possível benefício associado ao uso de mucilagem de cacto). Contudo, o que merece destaque nessa discussão é a performance da terra de cupinzeiro e o excelente nível de compactação e aderência demonstrado.

Resultados dos ensaios úmidos

O primeiro teste úmido realizado com as seis formulações propostas foi o de absorção e os gráficos das Figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos. Em particular, na Figura 3 estão separados os resultados obtidos sem (esquerda) e com (direita) a adição de mucilagem de *Opuntia*.

A primeira observação pode ser dirigida ao primeiro estágio da absorção de água (até 500 min, isto é, primeiras oito horas, aproximadamente) e essa evidencia que o melhor desempenho coube à argamassa de terra de cupinzeiro, ainda que em seguida ($t > 500$ min) seu comportamento tenha se equiparado àquele das outras duas argamassas (ensaio sem mucilagem) ou pelo menos da argamassa com terra de formigueiro (ensaio com mucilagem). Isso confirma que efetivamente a terra de cupinzeiro apresenta em si um grau de resistência à penetração de água e, conforme mostrado pela Figura 4, tal comportamento não parece melhorar muito significativamente com a adição de mucilagem, embora haja um indicativo nessa direção.

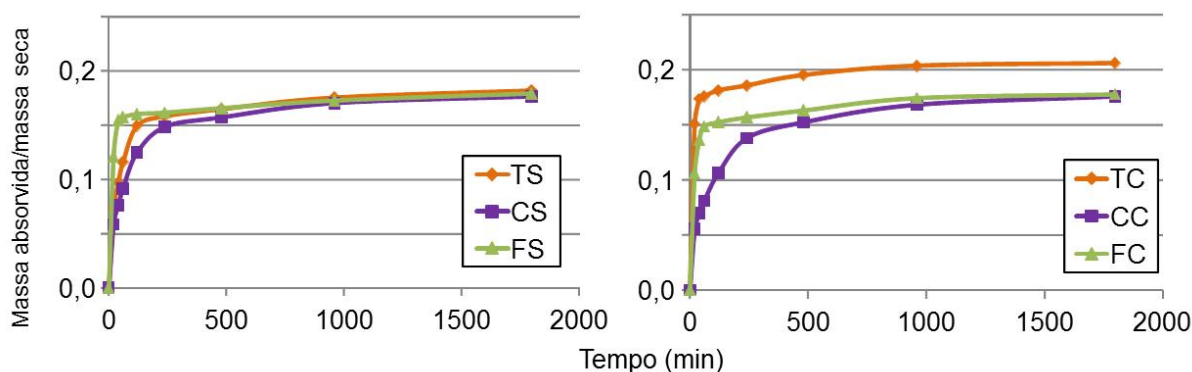


Figura 3. Resultados do ensaio de absorção: curvas da variação, com o tempo, das razões massa de água absorvida/massa seca de cada corpo de prova. Argamassas realizadas sem (S, esquerda) e com (C, direita) a adição de mucilagem de *Opuntia*. Siglas: T (terra comum), F (terra de formigueiro), C (terra de cupinzeiro).

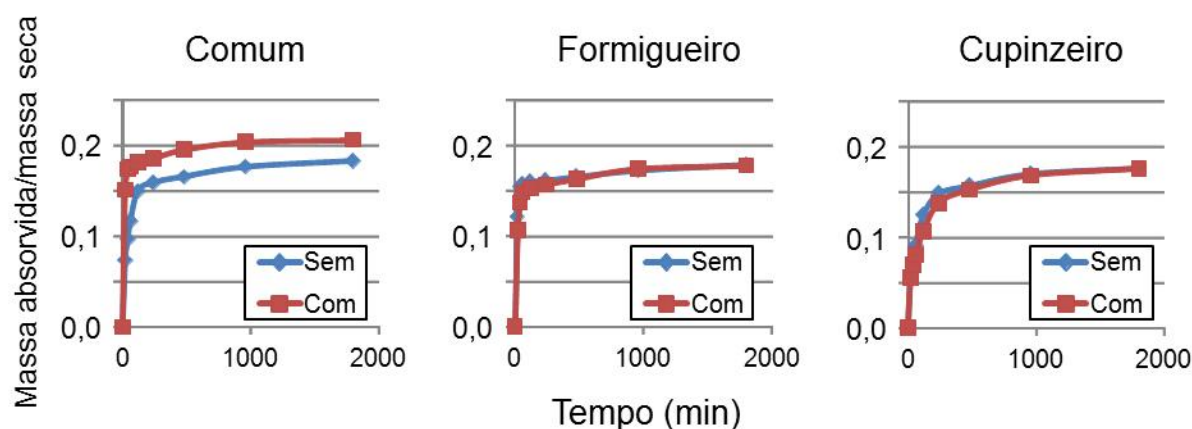


Figura 4. Resultados do ensaio de absorção: detalhe dos resultados da Figura 3 por tipo de terra.

A argamassa a base de terra de formigueiro, ainda que com desempenho menos eficiente que a terra de cupinzeiro, responde de forma parecida à adição de mucilagem. Já a terra comum, inesperadamente, parece ganhar em capacidade de absorção com a adição de mucilagem. Para tanto, supõe-se que a adição de mucilagem na terra comum tenha gerado aumento de porosidade do material, algo a ser investigado de forma mais aprofundada; contudo, erros experimentais não são excluídos e, portanto, fica caracterizada a necessidade de maiores estudos a esse respeito.

Passando ao ensaio de erosão, os gráficos da Figura 5 mostram tanto os valores originais de volume de água pingada para alcançar a perfuração dos corpos de prova, como os dados corrigidos com base no volume das gotas de cada gotejador usado no teste.

Independentemente da forma de se avaliar os resultados, o ensaio confirmou o melhor desempenho de ambas as argamassas baseadas no uso de terra de cupinzeiro no quesito abordado. Ademais, aqui é bastante inequívoco o efeito positivo da adição de mucilagem de *Opuntia*, com uma nítida melhora na resistência à erosão provocada pela incidência da água.

Ora, é importante notar que é provável que para esse efeito devam contribuir tanto a maior resistência mecânica dessa argamassa como um melhor nível de impermeabilidade, visto que a perfuração do corpo de prova depende não somente da erosão induzida pela pressão exercida pelas gotas de água em queda, mas também do enfraquecimento da estrutura da argamassa causado pela absorção da água e pela desagregação das partículas minerais. Assim, há razões por crer que, para tal sinergia entre o uso de terra de cupinzeiro e a adição de mucilagem, a terra de cupinzeiro por si só garanta boas resistência mecânica e resistência à penetração de água de partida (Figuras 2-4) e que o extrato vegetal

presumivelmente contribua acrescentando resistência mecânica adicional, já que sua participação na impermeabilidade da argamassa se mostrou pouco expressiva (Figura 4).

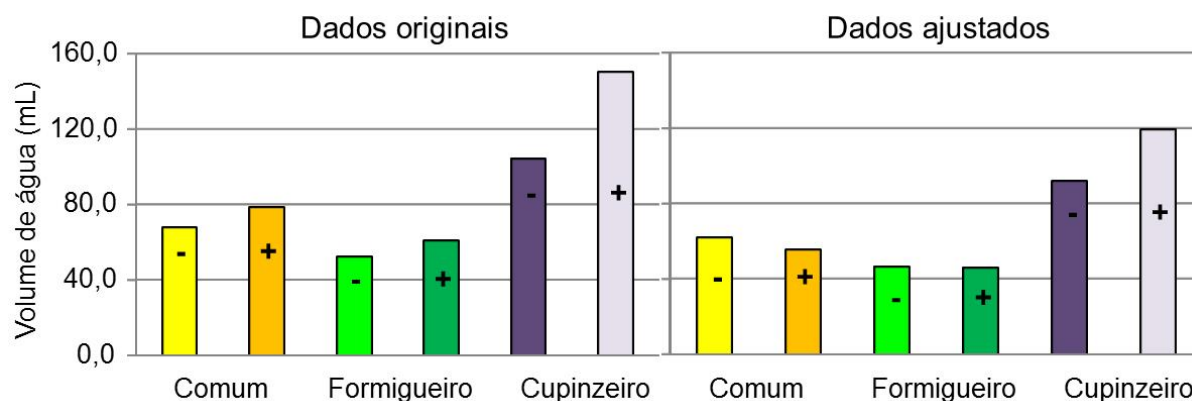


Figura 5. Resultados do ensaio de erosão: volume de água que foi necessário pingar em cada corpo de prova para provocar perfuração dos mesmos. À esquerda, dados originais do ensaio; à direita, dados corrigidos pelo tamanho das gotas de cada sistema de gotejamento. O símbolo + indica quais argamassas receberam a adição de mucilagem de *Opuntia*.

Já os dados obtidos com as argamassas a base de terra comum e terra de formigueiro mostram que, ainda que efetivamente a perfuração tenha ocorrido com a incidência de um maior volume de água nas argamassas corrigidas com mucilagem, não é possível associar essa maior resistência a tal adição, pelo menos não exclusivamente. Pois, coincidentemente os corpos de provas que apresentaram maior resistência foram também aqueles que estavam sujeitos à pressão de gotas menores, por causa da diferença entre os gotejadores. Esse fato está mostrado pela inversão na resposta das duplas indicadas como (-) e (+) no gráfico à direita da Figura 3. Nesse sentido, esses resultados ainda são inconcludentes e precisarão ser verificados (por exemplo, utilizando o mesmo aparato para todos os tipos de argamassas na realização do teste), muito embora o resultado negativo obtido pela terra comum no teste de absorção corrobore a validade dos dados ajustados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, foram desenvolvidas e testadas algumas formulações de argamassas de revestimento para construções históricas com terra, com foco no emprego de matérias primas disponíveis *in natura* no Vale Histórico Paulista (Vale do Paraíba, Brasil). Nessa região, que abriga edificações do século XIX de grande significado cultural, está patente a necessidade de melhor compreensão dos processos voltados para o restauro de seu patrimônio arquitetônico.

Em particular, foram comparadas as performances de argamassas realizadas com terra comum e com terras extraídas de montículos de formigueiro e de cupinzeiro e foi avaliado o efeito da adição de mucilagem extraída de cacto do gênero *Opuntia*.

Os resultados indicaram que as argamassas produzidas a partir de terra de cupinzeiro são superiores às demais em todos os aspectos avaliados (resistência mecânica e resistência à ação da água). A adição de mucilagem contribui para uma maior resistência à erosão provocada pela ação da água, efeito que se supõe estar associado ao aumento da capacidade de adesão, já que esse aditivo não altera significativamente a tendência dessa argamassa de absorver água.

As argamassas realizadas com os outros tipos de terras não apresentam ainda características adequadas para seu uso, sobretudo em função do desempenho insatisfatório no que tange à estabilidade física (aderência) na superfície de suporte, mas se considera que haja margens para aprimoramentos.

Não se tem elementos ainda para interpretar esses resultados com base na composição das terras e da mucilagem já que a obtenção desses dados não estava dentro do escopo desse

trabalho, mas tal pesquisa abre uma série de perspectivas científicas nessa direção e fornece orientações concretamente positivas para os interessados em restaurações sustentáveis do patrimônio edificado com terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. (1966). O domínio dos mares de morros no Brasil. *Geomorfologia*, v. 2, p. 1-9.
- Carrilho, M. J. (2006). Fazendas de café oitocentistas no Vale do Paraíba. *Anais do Museu Paulista*, v. 14, n. 1, p. 59-80.
- Cavicchioli, A.; Perroni, M. S.; Sato, D. P.; Andrade, F. N. S. (2013). Arquitetura em terra no vale histórico paulista-Brasil. In: Seminário Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 13, Valparaíso. SIACOT 2013: Anais ... Valparaíso: Rede Proterra; CD-ROM.
- Contour-Ansel, D.; Garnier-Sillam, E.; Lachaux, M.; Croci, V. (2000). High performance liquid chromatography studies on the polysaccharides in the walls of the mounds of two species of termite in Senegal, *Cubitermes oculatus* and *Macrotermes subhyalinus*: their origin and contribution to structural stability, *Biology and Fertility of Soils*, v. 31, p. 508–516.
- Fazio, A. T.; Cavicchioli, A.; Penna, D. S. A.; Chamberg, F. S.; Faria, D. L. A. (2015). Towards a better comprehension of biodeterioration in earthen architecture: study of fungi colonisation on historic wall surfaces in Brazil, *Journal of Cultural Heritage*, v. 16, p. 934-938.
- Gomes, A. O. (1995). Argamassas para revestimentos de edificações. Disponível em http://www.reciclar.ufba.br/palestras/sppg/adailton/argamassas_revestimentos.htm. Acessado em: 27/5/2016.
- Hollanda, S. B. (1975). Vale do Paraíba: velhas fazendas. São Paulo: Companhia Editora Nacional.
- Jouquet, P.; Bottinelli, N.; Shanbhag, R. R.; Bourguignon, T.; Traoré, S.; Abbasi, S. A. (2016). Termites: The neglected soil engineers of tropical soils. *Soil Science*, v. 18, p. 157-165.
- Lobato, M. (2009). Cidades mortas. 2ª ed. São Paulo: Editora Globo.
- Magalhães, A. C. T. V.; Almeida, J. G. (2010). O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática. *Ambiente Construído*, v. 10, p. 139-151. Disponível em http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12087/1/ARTIGO_Uso%20MucilagemCacto.pdf. Acessado em 24/6/2016.
- Mattaraia, R. A.; Ino, A. (2002). Argamassa de revestimento para construções em terra crua. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 9, Foz do Iguaçu. p.1269-1277. Disponível em http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1269_1278.pdf. Acessado em 24/6/2016.
- Minke, G., 2012. Building with earth. Design and Technology of a sustainable architecture, Basel: Birkhäuser ed.
- Neves, C. M. M.; Faria, O. B.; Rotondaro, R.; Cevallos, P. S.; Hoffmann, M. V. (2009). Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em 24/6/2016.
- Oliveira, M. M.; Sawitzki, R. L.; Fonseca, T. C. C. S. (2005). A seiva de cactos como aditivo de argamassas antigas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6; International Symposium On Mortars Technology, 1, Florianópolis. SBTA 2005: Anais... Florianópolis. Disponível em <http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/257-a-seiva-de-cactos-como-aditivo-de-argamassas-antigas?start=20>. Acessado em 24/6/2016.
- Pereira, H. N. (2008). *Saliva de cupim*: Recent experiments with termite mound soil and termite saliva as stabilizers for earthen structures. In: Terra 2008: The 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Bamako. Terra 2008: Proceeding. Los Angeles: The Getty Conservation Institute. Disponível em http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/terra_2008.pdf. Acessado em 24/6/2016.
- Radambrasil (1983). Projeto Radambrasil, levantamento de recursos naturais. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro, MME, v. 32.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Profa. Dra. Lucy Gomes de Sant'Anna e o Laboratório de Caracterização de Rochas de Sistemas Petrolíferos do Instituto de Energia e Ambiente da USP pelas análises granulométricas.

AUTORES

Andrea Cavicchioli, doutor em química pela Universidade de São Paulo e especialista em química analítica, é docente e pesquisador da mesma instituição. Sua principal linha de pesquisa é o estudo de estratégias de diagnóstico e conservação do patrimônio cultural e natural. Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/2583862022834436>

Guillermo Rolón, doutor pela Universidad de Buenos Aires com especialização em arqueologia (FFyL), mestre em restauro e gestão integrada do patrimônio edificado (UPV/EHU), arquiteto, investigador Adscripto do CRIATiC (FAU-UNT) e investigador Adjunto do CONICET; membro da Rede Ibero-americana PROTERRA. Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/7173672607554572>.

Carlos Lauro Maia Cavalcanti, gestor ambiental, pós-graduado com especialização em gestão ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, gestor da unidade de conservação reserva particular do patrimônio natural (RPPN) Fazenda Catadupa, instituto socioambiental voltado para pesquisa e restauração de patrimônios históricos materiais e imateriais e conservação de patrimônios naturais.

Joseane Fontaine, gestora ambiental, pós-graduada com especialização em gestão ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, gestora da unidade de conservação reserva particular do patrimônio natural (RPPN) Fazenda Catadupa, instituto socioambiental voltado para pesquisa e restauração de patrimônios históricos materiais e imateriais e conservação de patrimônios naturais.