

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE BELAS ARTES

CURSO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS MÓVEIS

Ana Carolina Silva

**Adesivos utilizados na consolidação in situ de cerâmicas arqueológicas:**

**análise da efetividade da adesão, da estabilidade e do envelhecimento**

Belo Horizonte – MG

2025

Ana Carolina Silva

Adesivos utilizados na consolidação in situ de cerâmicas arqueológicas: análise da efetividade da adesão, da estabilidade e do envelhecimento

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, do Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientação: Profa. Dra. Camilla Henriques Maia de Camargos

Coorientação: Profa. Dra. Alessandra Rosado

Belo Horizonte – MG

2025

Ana Carolina Silva

**Título:** Adesivos utilizados na consolidação in situ de cerâmicas arqueológicas:  
análise da efetividade da adesão, da estabilidade e do envelhecimento

O presente trabalho em nível de graduação foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Profa. Dra. Camilla Henriques Maia de Camargos, Dr.(a) Instituição UFMG

Prof.(a) Alessandra Rosado, Dr.(a) Dr.(a) Instituição UFMG

Prof.(a) Lílian Panachuk de Sá , Dr.(a) Instituição UFMG

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi  
julgado adequado para obtenção do título de bacharel em  
Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis.

---

**Coordenação do Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais  
Móveis**

**Escola de Belas Artes - UFMG**

**em 2025**

---

**Prof.(a) Camilla Henriques Maia de Camargo, Dr.(a) Instituição UFMG**

**Orientador(a)**

**Belo Horizonte, 2025.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

## ESCOLA DE BELAS ARTES

### COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS MÓVEIS

#### FOLHA DE APROVAÇÃO

**"Adesivos utilizados na consolidação in situ de cerâmicas arqueológicas: análise da efetividade da adesão, da estabilidade e do envelhecimento"**

**ANA CAROLINA SILVA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, aprovado em 08/07/2025 pela banca constituída pelos membros:

Profa. CAMILLA HENRIQUES MAIA DE CAMARGOS  
Orientadora

Profa. ALESSANDRA ROSADO  
Coorientadora

Profa. LÍLIAN PANACHUK DE SÁ  
Examinadora

Belo Horizonte, 08 de julho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Camilla Henriques Maia de Camargos, Coordenador(a) de curso**, em 11/07/2025, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Rosado, Professora do Magistério Superior**, em 24/07/2025, às 23:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lilian Panachuk de Sa, Professora Magistério Superior-Substituta**, em 25/07/2025, às 14:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 4357963 e o código CRC **808BAEB1**.

---

Referência: Processo nº 23072.241739/2025-98

SEI nº 4357963

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças nessa caminhada e luz nos momentos mais difíceis.

A minha mãe Isolina, que do céu sempre me mandando força e amor, e dizer que realizei o seu sonho de ver sua filha formada no ensino superior.

Ao meu pai Sebastião por sempre acreditar em mim e lembro com carinho por estar sempre ao meu lado quando o assunto foi estudos e seu esforço por sempre me dar o melhor e de ir atrás de uma vida digna para nossa família.

A minha irmã Paula por sempre acreditar em mim e ser meu apoio nos momentos mais difíceis. A minha linda sobrinha Laura, por me alegrar, por ser um lugar doce e que eu possa ser um exemplo bonito no seu caminho.

E agradecer imensamente à minha orientadora Profa. Dra. Camilla Henriques Maia de Camargos por toda paciência e apoio, por ser minha inspiração de trabalho e dedicação. E à Profa. Alessandra Rosado, por acolher minha proposta de pesquisa com tanto entusiasmo e confiança.

Agradeço ao LACICOR – Laboratório de Ciência da Conservação pelo suporte técnico nas análises laboratoriais realizadas neste trabalho.

A todos da equipe do CAALE e principalmente ao Cleito e Rosangela por acreditar no meu trabalho e ser uma grande inspiração na preservação do patrimônio de Lagoa Santa.

Aos meus amigos de curso, obrigada por tornarem o caminho mais leve, divertido e cheio de boas memórias.

Ao Simplício por estar ao meu lado durante todo esse processo. Sua companhia constante, o apoio nos momentos difíceis e a disposição em me ajudar, mesmo nas pequenas coisas, foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente com mais tranquilidade e foco.

E a Cake por me recepcionar todos os dias em casa e ser a minha companheira.

## RESUMO

Esta pesquisa se pauta na investigação sobre a conservação de cerâmicas arqueológicas, com foco na análise e caracterização dos adesivos empregados na consolidação *in situ* de peças fragmentadas. O estudo é impulsionado pela necessidade de otimizar as práticas de preservação de artefatos cerâmicos, com destaque àqueles que se encontram na reserva técnica do Centro de Arqueologia Annette L. Emperaire (CAALE). Para tanto, são abordadas, de forma sistemática e sob o ponto de vista da Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, a eficiência e a durabilidade de materiais adesivos amplamente utilizados por arqueólogos. Foram investigados os adesivos sintéticos poli(vinil acetato) (PVA), copolímero de etil e metilmacrilato (Paraloid® B72), poli(álcool vinílico) (PVOH) e resinas epoxídicas (Araldite®). A metodologia emprega uma combinação de análises químicas e físicas, incluindo testes de resistência mecânica à tração para avaliar a força adesiva das uniões de fragmentos cerâmicos em protótipos e ensaios de envelhecimento acelerado. Estes últimos foram conduzidos em condições severas de temperatura e umidade relativa, simulando o impacto do tempo e de ambientes adversos sobre a integridade dos adesivos convencionalmente utilizados para a consolidação *in situ*. Tais ensaios permitiram uma avaliação aprofundada da estabilidade e durabilidade dos materiais testados em protótipos cerâmicos desenvolvidos especificamente para este fim. Os resultados de espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR) mostraram que, apesar de não apresentarem modificações significativas em seu perfil químico após o envelhecimento nas condições estudadas, os adesivos passaram por alterações colorimétricas em diferentes níveis e tornaram-se, de modo geral, mais rígidos e quebradiços. Por meio de uma abordagem marcadamente interdisciplinar, que integrou conhecimentos da arqueologia, conservação e ciência dos materiais, este estudo buscou discutir criticamente as práticas de consolidação *in situ* atualmente adotadas por arqueólogos. Ainda que não se objetive indicar categoricamente que um adesivo deve ou não ser utilizado para a consolidação de cerâmicas, espera-se que este trabalho possa contribuir para a discussão do aprimoramento das metodologias de preservação do patrimônio cultural arqueológico, garantindo a longevidade e a acessibilidade desses importantes vestígios para futuras gerações de pesquisadores e para a sociedade.

**Palavras-chave:** Conservação arqueológica; cerâmicas; adesivos; conservação preventiva; arqueologia.

## ABSTRACT

This research is grounded in the investigation of the conservation of archaeological ceramics, with a focus on the analysis and characterization of adhesives used in the *in situ* consolidation of fragmented objects. The study is driven by the need to optimize preservation practices for ceramic artifacts, with particular attention to those housed in the technical reserve of the Centro de Arqueología Annette L. Emperaire (CAALE). To this end, the efficiency and durability of adhesives widely used by archaeologists are systematically examined from the perspective of the Conservation-Restoration of Movable Cultural Heritage. The synthetic adhesives investigated include poly(vinyl acetate) (PVA), methyl and ethyl methacrylate copolymer (Paraloid® B72), poly(vinyl alcohol) (PVOH), and epoxy resins (Araldite®). The methodology combines chemical and physical analyses, including tensile strength tests to assess the adhesive performance of ceramic fragment joints in prototypes, along with accelerated aging tests. The latter were conducted under severe conditions of temperature and relative humidity, simulating the impact of time and harsh environments on the integrity of adhesives commonly used for *in situ* consolidation. These tests enabled an in-depth evaluation of the stability and durability of the materials applied to ceramic prototypes developed specifically for this purpose. Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy results showed that, although no significant changes were observed in the chemical profile of the adhesives after aging under the conditions studied, they exhibited varying degrees of colorimetric alteration and generally became more rigid and brittle. Through a markedly interdisciplinary approach—integrating knowledge from archaeology, conservation, and materials science—this study critically discusses current *in situ* consolidation practices adopted by archaeologists. While the study does not aim to definitively recommend or reject the use of a particular adhesive for ceramic consolidation, it seeks to contribute to the ongoing discussion around improving methodologies for the preservation of archaeological cultural heritage, ensuring the longevity and accessibility of these important artifacts for future generations of researchers and for society at large.

**Keywords:** Archaeological conservation; ceramics; adhesives; preventive conservation; archaeology.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAALE – Centro de Arqueologia Annette L. Emperaire.

FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier).

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

LACICOR – Laboratório de Ciência da Conservação.

MCDB/UCDB – Museu das Culturas Dom Bosco/Universidade Católica Dom Bosco.

PPCM – Política de Patrimônio Cultural Material.

PVA – Poli(vinil acetato).

PVAc – Poli(vinil acetato).

PVOH – Poli(álcool vinílico).

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. PANORAMA DA PRESERVAÇÃO DE CERÂMICAS ARQUEOLÓGICAS	12
2.1 A cerâmica arqueológica e sua salvaguarda	14
3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ADESIVOS EM CONSOLIDAÇÃO IN SITU DE CERÂMICAS	19
3.1 Metodologia dos Ensaios	20
3.2 Preparação das Amostras Cerâmicas (protótipos ou corpos de prova)	20
3.3 Envelhecimento artificial dos protótipos cerâmicos colados com diferentes adesivos	24
3.4 Ensaios adaptados de resistência à tração em junta adesiva de cerâmicas fraturadas	25
3.5 Análise colorimétrica e química dos protótipos envelhecidos artificialmente	26
4. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIAS E ESTABILIDADE DE ADESIVOS UTILIZADOS PARA A CONSOLIDAÇÃO IN SITU DE CERÂMICAS ARQUEOLÓGICAS	28
4.1 Adesivos encontrados em cerâmicas arqueológicas consolidadas in situ em salvaguarda ao CAALE	28
4.2 Ensaios mecânicos de tração adaptado para juntas adesivas em protótipos cerâmicos	31
4.3 Ensaios mecânicos de tração adaptado para juntas adesivas em protótipos cerâmicos envelhecidos artificialmente	36
4.4 Estabilidade visual, colorimétrica e química dos adesivos aplicados aos protótipos de cerâmica	38
5. CONCLUSÃO	44
6. REFERÊNCIAS	47

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos provenientes de contextos arqueológicos constituem registros significativos das trajetórias históricas das sociedades humanas. Esses fragmentos do passado, por meio de suas formas, técnicas de fabricação e marcas de uso, revelam aspectos do cotidiano, das práticas simbólicas, das estruturas sociais e dos saberes técnicos de comunidades. A cerâmica arqueológica, portanto, ultrapassa seu valor material, assumindo papel central na compreensão das dinâmicas culturais ao longo do tempo, ao integrar abordagens oriundas da história, da antropologia, da etnologia e da arqueologia.

Por se encontrarem frequentemente fragmentadas em razão de processos deposicionais e de deterioração natural, essas peças exigem cuidados específicos no campo da conservação e do restauro. As intervenções devem garantir sua estabilidade física e, ao mesmo tempo, respeitar a integridade estética, histórica e material dos artefatos, sem comprometer seu potencial informativo. Nesse contexto, a consolidação de fragmentos cerâmicos figura como uma etapa crítica no tratamento de bens arqueológicos, demandando escolhas técnicas pautadas por critérios científicos e éticos.

Em muitos contextos de escavação, a consolidação de suporte/consolidação de peças fragmentadas é realizada ainda em campo, com o intuito de facilitar a coleta e o transporte dos materiais (Maia, 2021). Essa prática, geralmente executada por arqueólogos, pode, no entanto, incorrer em riscos quando os adesivos aplicados não são escolhidos com base em parâmetros de compatibilidade físico-química, estabilidade a longo prazo e possibilidade de remoção/retratabilidade (Froner e Souza, 2008). A aplicação inadequada de materiais adesivos pode ocasionar tensões estruturais, promover reações químicas indesejadas ou acelerar processos de degradação e/ou deterioração.

Considerando essas questões, o presente trabalho tem como objetivo investigar a estabilidade, a durabilidade e o comportamento de diferentes adesivos comumente utilizados na consolidação de cerâmicas arqueológicas, através da análise de protótipos cerâmicos e também utilizando dois exemplos encontrados no acervo sob guarda do Centro de Arqueologia Annette Laming Emperaire (CAALE), localizado

em Lagoa Santa, Minas Gerais. Foram avaliados adesivos sintéticos empregados em processos de consolidação *in situ* por arqueólogos, incluindo poli(vinil acetato) (PVAc), copolímero de metil e etil metacrilato (Paraloid® B72), poli(álcool vinílico) (PVOH) e resinas epoxídicas (Araldite®) (Carvalho, 2016).

A metodologia da pesquisa incluiu a realização de um breve levantamento e a caracterização de peças do acervo que passaram por processos de consolidação, bem como a elaboração de protótipos cerâmicos que foram consolidadas com os adesivos e depois submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado e testes de resistência à tração adaptados (qualitativos). Tais procedimentos permitiram que se observasse o desempenho dos adesivos antes e depois de envelhecidos em condições severas de temperatura (80 °C) e umidade relativa (75%).

Além da dimensão experimental, o estudo apresenta uma análise crítica das práticas adotadas no campo arqueológico, com o intuito de compreender os critérios que orientam a escolha dos materiais adesivos e discutir os desafios da atuação interdisciplinar entre arqueologia e conservação. Este trabalho de conclusão de curso está estruturado em 5 seções, incluindo esta Introdução. O Capítulo 2 trata do referencial teórico e da revisão bibliográfica, explorando a história e os tipos de adesivos utilizados na conservação arqueológica, bem como aprofundando a discussão sobre as práticas de consolidação *in situ* e os desafios da atuação interdisciplinar. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada, detalhando os materiais adesivos selecionados, a preparação dos protótipos cerâmicos, os procedimentos de envelhecimento acelerado sob condições controladas e as técnicas analíticas utilizadas, como a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e os testes de resistência mecânica. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos, incluindo a avaliação da estabilidade química dos adesivos, as alterações físicas observadas, como mudanças colorimétricas, aumento de rigidez e fragilidade e o desempenho mecânico antes e após o envelhecimento. Por fim, o Capítulo 5 reúne as considerações finais do estudo, sintetizando os principais achados, discutindo suas implicações para a prática da conservação de cerâmicas arqueológicas e sugerindo caminhos para pesquisas futuras.

Dessa forma, este trabalho busca contribuir para o aprimoramento das práticas de conservação de cerâmicas arqueológicas, promovendo o diálogo entre teoria e prática, bem como entre diferentes campos do saber. Ao evidenciar os impactos das escolhas materiais sobre a longevidade dos artefatos, esta pesquisa visa oferecer subsídios técnicos e teóricos para intervenções mais criteriosas e sustentáveis, voltadas à salvaguarda de bens culturais de inestimável valor histórico e científico.

## 2. PANORAMA DA PRESERVAÇÃO DE CERÂMICAS ARQUEOLÓGICAS

A Conservação-Restauração assume um papel de grande relevância para a preservação e o conhecimento do patrimônio arqueológico. Museus, enquanto instituições de memória, funcionam como espaços importantes para a salvaguarda do patrimônio histórico e memória. O patrimônio cultural material é compreendido, conforme o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), como o "universo de bens tangíveis, móveis ou imóveis, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira" (IPHAN, 2018, p. 2). Nesse contexto, a Política de Patrimônio Cultural Material (PPCM) do Iphan busca promover a preservação do patrimônio cultural material (IPHAN, 2018), o que envolve um conjunto de ações voltadas para sua manutenção e integridade. Dentre os processos institucionais que compõem essa política de preservação, destaca-se a conservação (IPHAN, 2018, p. 4). A restauração, por sua vez, atua sobre o objeto buscando não apenas conferir-lhe estabilidade, mas também recuperar e preservar a integridade desse objeto. Nesse contexto, a preservação envolve todas as ações que beneficiam a manutenção e a integridade do bem cultural, enquanto a conservação visa interromper processos de deterioração e conferir estabilidade à matéria. A restauração, por sua vez, atua sobre o objeto buscando não apenas fornecer estabilidade, mas também preservar a integridade desse objeto.

A natureza fragmentada dos achados arqueológicos, especialmente das cerâmicas, representa um desafio ao trabalho dos arqueólogos nas escavações arqueológicas. Durante as escavações, os vestígios de cerâmica são normalmente encontrados "trincados, quebrados ou mesmo fragmentados".

A complexidade da restauração de cerâmicas arqueológicas é evidenciada pela necessidade de lidar com intervenções prévias inadequadas, que podem comprometer a integridade e a compreensão do artefato. Um exemplo prático dessa realidade é a restauração de uma urna funerária no Museu das Culturas Dom Bosco (MCDB/UCDB), cuja peça já havia recebido intervenções restaurativas anteriores (figura 1). Conforme observado,

Em sua análise preliminar, a peça apresentava problemas estéticos, quanto à alteração de sua forma, presença de manchas de colas e até mesmo problemas de segurança em suas estrutura física, com instabilidade na sua montagem, trazendo risco as condições ideais de conservação, pois esta peça já havia passado por outras intervenções restaurativas em que as técnicas e os materiais utilizados estavam ultrapassados e não são sequer mais utilizados (Lonkhuijzen, 2022, p. 494, 12).

Nesse ponto do trabalho de desmontagem e limpeza, observou-se que a peça havia sido colada fora de ângulo e que uma das partes não estava encaixada na posição correta, além disso, possuía mais de três tipos de cola; Epoxi, Araudite, goma elástica parecida com cola branca e Durepóxi. (Lonkhuijzen, 2022, p. 494, 12).

Figura 1: Urna funerária restaurada no Museu das Culturas Dom Bosco (MCDB/UCDB).



[Figura 1] Urna funerária da coleção de arqueologia que já havia passado por outras intervenções restaurativas e apresentava problemas.

[Fonte] Arquivo do MCDB/UCDB.

Fonte: <https://www.researchgate.net/publication/366445494>.

Para compreender a tipologia desses materiais, é indispensável conhecer a composição e a origem da argila. Sendo um material essencial à produção cerâmica, ela é formada a partir da decomposição de rochas ao longo de milhares de anos, especialmente sob a ação da água. Essa matéria-prima possui características físico-químicas particulares que a tornam ideal para modelagem. Como descrito por Joaquim Chavarria (2004, p. 1), “a argila pode ser classificada em dois grandes grupos: as argilas primárias, que permanecem no local de sua origem, e as argilas secundárias, que são transportadas e depositadas em outros ambientes, como margens de rios e estuários”. Essas últimas, por apresentarem partículas mais finas, são geralmente mais plásticas e de uso mais recorrente.

Entre suas propriedades mais importantes está a plasticidade, que permite moldar a argila úmida e manter sua forma após a modelagem. Essa qualidade está diretamente relacionada à estrutura laminar das partículas e à presença de água. No entanto, o excesso de umidade pode comprometer a coesão do material, tornando-o pegajoso e instável. Como destaca o autor, “se for adicionada água em excesso, a argila converte-se numa matéria mole e pegajosa, devido à perda de aderência das partículas” (Chavarria, 2004, p. 1).

Outro aspecto essencial é a contração, ou encolhimento, que ocorre à medida que a argila perde umidade — tanto na secagem quanto na queima. As argilas mais plásticas tendem a apresentar maior retração, o que exige cuidados específicos na preparação e conservação de peças. A adição de materiais não plásticos, como areia ou chamote, é uma prática comum para minimizar esse efeito e melhorar a estabilidade dimensional durante o processo de produção cerâmica.

## *2.1 A cerâmica arqueológica e sua salvaguarda*

A cerâmica arqueológica é um dos principais vestígios materiais para o entendimento das sociedades antigas, revelando aspectos culturais, tecnológicos e sociais por meio de suas características e tipologias. Por ser um material amplamente encontrado em sítios arqueológicos, a cerâmica contribui significativamente para a reconstrução histórica e arqueológica de diferentes períodos.

A conservação e a restauração de bens arqueológicos são de grande importância para a salvaguarda do patrimônio cultural. É importante compreender que a "falta de critérios nos processos de intervenção tem acarretado perdas significativas quanto a seu potencial de investigação, relacionado ao seu universo cultural" (Froner, 1995), ou seja, há a necessidade de intervenções tecnicamente embasadas e eticamente orientadas.

Embora toda degradação seja um processo irreversível e os objetos nunca retornem ao seu estado original, a ação da conservação visa frear e controlar esses processos deteriorantes. Dessa forma, garante-se a longevidade dos vestígios do passado, permitindo que continuem a ser fontes valiosas de informação e conhecimento para as gerações futuras.

Nesse contexto, o Centro de Arqueologia Annette Laming Emperaire (CAALE), localizado em Lagoa Santa, Minas Gerais, desempenha um papel fundamental na pesquisa, conservação e salvaguarda de acervos cerâmicos e outros vestígios arqueológicos da região (figura 2). Criado pela lei municipal nº 488/83, o CAALE homenageia a arqueóloga francesa Annette Laming Emperaire, que teve papel relevante na Missão Franco-Brasileira de Arqueologia na região.

Desde sua criação em 1983, o CAALE tem implementado atividades de pesquisa, salvaguarda (conservação e documentação), comunicação (exposição e ação educativo-cultural) e preservação patrimonial, muitas vezes em parceria com universidades e outras instituições (figura 3).

O acervo institucional do CAALE é vasto e em constante crescimento, incluindo vestígios arqueológicos de caçadores-coletores e horticultores que ocuparam a região por mais de 10.000 anos. Esse acervo foi inicialmente formado por coleções do Museu de História Natural da UFMG, doações particulares e pesquisas próprias, sendo complementado por vestígios de projetos de licenciamento ambiental. O centro também preserva acervo fotográfico e outros registros científicos.

A missão do CAALE é ampliar e disseminar o conhecimento sobre a pré-história regional, por meio de pesquisas arqueológicas, programas museológicos de salvaguarda e comunicação, e iniciativas de preservação, buscando despertar o senso de pertencimento local e colaborar com a educação.

Figura 2: Fachada CAALE.



Fonte: <https://turismo.lagoasanta.mg.gov.br/index.php/caale/>).

Figura 3 : reserva técnica CAALE.



Fonte: Silva, 2025.

Para uma análise de como os materiais se comportam após um período acondicionado em uma reserva técnica, foram selecionadas 3 peças cerâmicas arqueológicas presentes sob guarda salva do CAALE (figura 4). As peças abordadas neste trabalho são coletadas do Sítio Rio Vermelho, um importante local de ocupação indígena pré-colonial no município de Santa Luzia, Minas Gerais. O sítio está situado em uma elevação natural de inclinação suave, dentro de propriedades privadas como o Haras Alcatruz e a Fazenda Rio Vermelho, e sua localização estratégica próxima ao Rio Vermelho, afluente do Rio das Velhas (bacia do Rio São Francisco), destaca sua importância paleoambiental e de recursos hídricos para as antigas populações. A proximidade de uma Oficina Lítica Rio Vermelho 2, a cerca de 500 metros, sugere uma área de exploração e processamento de matérias-primas conectada diretamente ao sítio de habitação.

O sítio arqueológico Rio Vermelho, localizado na bacia do Rio das Velhas, constitui um importante testemunho da presença de grupos humanos associados à tradição Tupiguarani. A delimitação do sítio em duas áreas, uma de habitação e um ateliê lítico, oferece percepções sobre a organização espacial e funcional desses assentamentos. A área de habitação, em particular, está situada no topo de uma elevação natural, com inclinação suave e solo areno-argiloso de coloração marrom-avermelhada.

A afiliação do sítio à tradição Tupiguarani foi estabelecida a partir da prospecção, com base em evidências materiais e morfológicas. A cerâmica encontrada no local exibe características de identificação, como bordas reforçadas, decoração corrugada e a presença de fragmentos pintados. Esses elementos decorativos são marcadores culturais que permitem a associação inequívoca com a cultura material Tupiguarani.

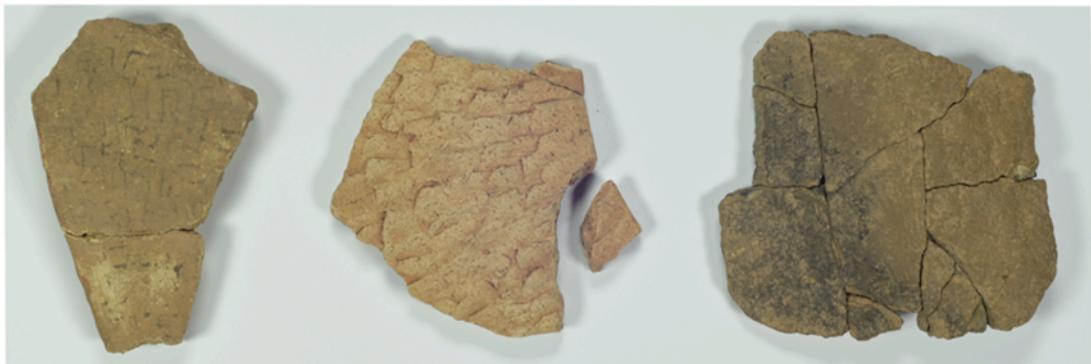
Adicionalmente, a localização geográfica do sítio fortalece essa atribuição. Como aponta o relatório (Bruno, 2009, p.5), o sítio Rio Vermelho integra um conjunto de cinco sítios na bacia do Rio das Velhas que são atribuídos à mesma ocupação, o que sugere um padrão de dispersão e assentamento que pode ser objeto de análises mais aprofundadas.

As coleções arqueológicas recuperadas no sítio são vastas e diversificadas, compreendendo principalmente materiais cerâmicos e líticos, que fornecem informações sobre a cultura material e as práticas dos antigos habitantes.

O estado de conservação da coleção é bom, pois mais de 70% de toda a coleção pôde ser analisada. Apesar desse “bom estado”, alguns problemas pós-deposicionais afetaram os fragmentos cerâmicos, em especial a erosão, a crosta sedimentar e as radículas aderidas à superfície dos fragmentos. A erosão e a crosta sedimentar afetaram com maior impacto os de decoração pintada, sendo uma característica desta coleção a pintura vestigial, sendo a maioria dos fragmentos somente com preservação do engobo branco (Bruno, 2009, p. 188).

A coleção de cerâmica coletada, totalizando 12.210 fragmentos, é composta principalmente associada à tradição Tupiguarani, caracterizada por um repertório variado de formas e decorações. Entre as formas identificadas, destacam-se vasilhas bi-infletidas, bacias, e uma diversidade de potes, desde os abertos até os fechados, além de peças em miniatura. A análise revelou a presença de elementos como alças, apliques e fragmentos de bases, incluindo bases anelares e pedestais. Quanto à decoração, são notáveis os fragmentos pintados (com padrões geométricos e talvez zoomorfos ou antropomorfos) e com decorações corrugadas, que consistem em superfícies onduladas obtidas pela manipulação da argila. De modo geral, as peças analisadas encontram-se em bom estado de conservação, considerando-se as condições em que foram armazenadas e seu contexto arqueológico. Ressalta-se, no entanto, que uma parcela significativa do conjunto encontra-se fragmentada, o que é comum em acervos cerâmicos arqueológicos, em decorrência de processos naturais de degradação e das condições de sepultamento ao longo do tempo.

Figura 4: Peças cerâmicas reais selecionadas para análise do adesivo.



Fonte: Silva, 2025

### 3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ADESIVOS EM CONSOLIDAÇÃO IN SITU DE CERÂMICAS

A conservação de bens culturais arqueológicos, em especial os artefatos cerâmicos, é um trabalho que exige rigor técnico e ético. Essas peças, fragmentadas pelo tempo e pelas condições de deposição nos sítios arqueológicos, representam um valor histórico, cultural e científico. A consolidação de fragmentos cerâmicos arqueológicos é uma das intervenções mais comuns nesse campo, a escolha adequada de adesivos para essa tarefa é, portanto, uma etapa crucial, essa decisão não pode ser arbitrária; ela deve considerar múltiplos critérios técnicos e éticos, incluindo a reversibilidade dos materiais – permitindo futuras intervenções sem danos à peça original –, sua compatibilidade físico-química com o substrato cerâmico, e a estabilidade a longo prazo frente aos processos naturais de envelhecimento e degradação. Entretanto, um aspecto igualmente fundamental, embora por vezes menos enfatizado nas discussões gerais de conservação, é o desempenho mecânico dos adesivos e de colorimetria.

Este capítulo propõe apresentar uma análise dos resultados de testes de resistência mecânica realizados em amostras cerâmicas, submetidas a processos de colagem com diferentes adesivos. O objetivo é avaliar a eficiência e a durabilidade das

colagens em condições controladas de laboratório, oferecendo uma base para a tomada de decisão para a sua conservação e restauração. Foram testados quatro tipos de adesivos comumente empregados em conservação e restauro: acetato de polivinila (PVA); resina epóxi (Araudite®), por sua alta resistência; e copolímero de metil e etil metacrilato (Paraloid® B72) diluído em dois solventes distintos (acetona e etanol). Além dessas, amostras-controle sem adesivo foram incluídas no estudo para fornecer um referencial comparativo, permitindo distinguir o impacto direto do uso dos adesivos na resistência estrutural das peças.

A metodologia aplicada consistiu na preparação das amostras cerâmicas e na aplicação controlada das colagens. Após, as amostras foram submetidas a ensaios mecânicos de resistência, um método que simula os esforços e tensões que podem ocorrer durante o manuseio, transporte e exibição das peças. A individualização das amostras por numeração possibilitou acompanhamento dos dados, garantindo a correta correlação entre o tipo de adesivo utilizado, o desempenho mecânico observado e os modos de falha detectados em cada ensaio.

Os resultados obtidos constituem um importante subsídio técnico para a avaliação crítica da viabilidade e adequação dos materiais adesivos empregados em consolidações. Ao quantificar a resistência e analisar a durabilidade sob condições simuladas de envelhecimento, este estudo contribui para o desenvolvimento de protocolos para a consolidação cerâmica arqueológica.

### *3.1 Metodologia dos Ensaios*

A metodologia adotada para a realização dos ensaios buscou simular, de forma controlada, as condições de fragilidade e de estresse mecânico a que peças cerâmicas consolidadas podem ser submetidas. A seleção e preparação das amostras, bem como os procedimentos de colagem e teste, foram padronizados (com as limitações existentes) para garantir uma média eficaz nos resultados. As amostras contendo os diferentes adesivos em juntas adesivas ou na superfície dos substratos envelhecidos artificialmente ou não foram analisadas por ensaios de colorimetria (medidas no espaço de cor CIELab), ensaios mecânicos de tração

(adaptados) e espectroscopia de absorção no infravermelho em modo de refletância total atenuada (ATR-FTIR).

### *3.2 Preparação das Amostras Cerâmicas (protótipos ou corpos de prova)*

As amostras cerâmicas utilizadas neste estudo foram produzidas com argila artística (Figura 5). Cada protótipo foi moldado manualmente, nas dimensões padrão de 10 cm de largura, 2,5 cm de comprimento e 1 cm de profundidade (Figura 6). Após o processo de moldagem, as peças passaram por uma secagem natural ao ar por pelo menos uma semana, para a remoção do máximo de umidade estrutural e prevenção de fissuras. Posteriormente, foram submetidos à queima de biscoito no forno do Laboratório de Cerâmica da Belas Artes. O tratamento térmico foi realizado a 1050 °C, por 8 horas. Para um controle, cada peça recebeu uma numeração, permitindo uma classificação para que tivesse um controle de cada adesivo e um acompanhamento individual durante os testes.

Figura 5: Imagem dos protótipos de cerâmica antes das quebras.



Fonte: Silva, 2025.

Foto 6 : Dimensões dos protótipos de cerâmica.



Fonte: Silva, 2025.

As fraturas nas amostras foram provocadas de forma manual, simulando rupturas irregulares e naturais, como mostrado na Figura 7. Essa abordagem visou criar superfícies de contato não perfeitamente planas, o que é mais representativo das condições reais de consolidação. Após o fraturamento, as peças foram unidas com os diferentes adesivos.

Figura 7: Quebras dos protótipos de cerâmica.



Fonte: Silva, 2025.

Depois de fraturadas, as amostras foram consolidadas utilizando diferentes adesivos, como mostrado nas figuras 8 a 11.

Figura 8: PVA utilizado nos protótipos e aplicação.



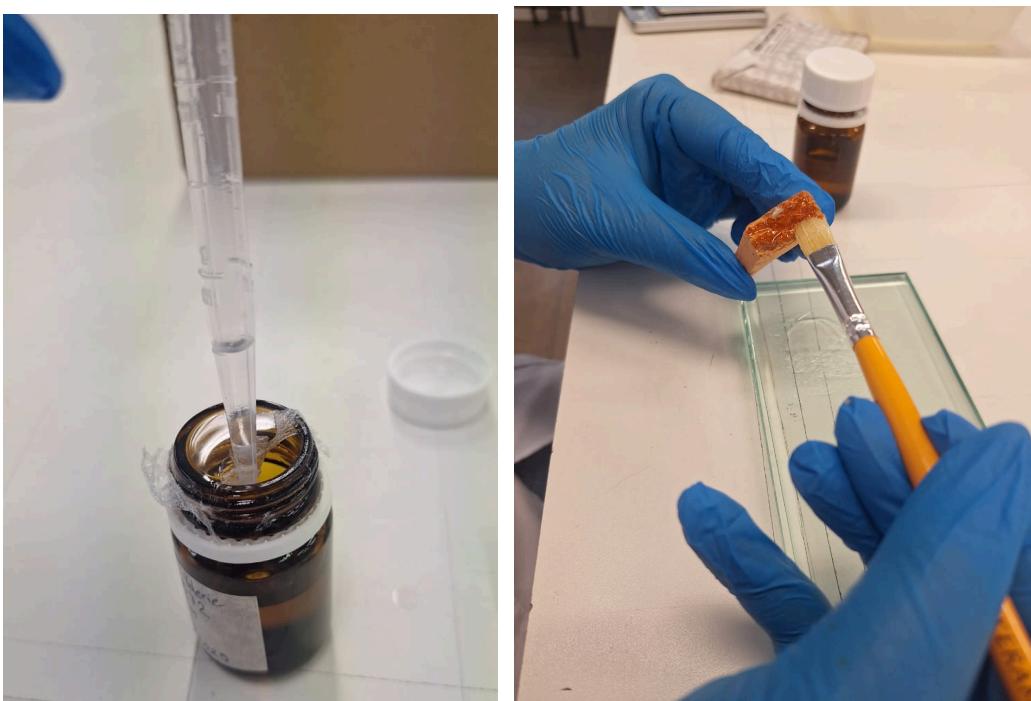
Fonte: Silva, 2025.

Figura 10: Adesivo de epóxi utilizado nos protótipos e aplicação.



Fonte: Silva, 2025

Figura 11: Controle da quantidade de Paraloid B72 aplicado nos protótipos e aplicação.



Fonte: Silva, 2025.

### 3.3 Envelhecimento artificial dos protótipos cerâmicos colados com diferentes adesivos

Para simular condições de envelhecimento que podem afetar a integridade das colagens, as amostras foram cuidadosamente posicionadas em uma vasilha de vidro, contendo as peças de cerâmica fraturadas e previamente adesivadas com os diferentes materiais. No interior do recipiente (Figura 12), foi adicionada uma solução composta por 58% (m/m) de glicerina e 42% (m/m) de água deionizada, em um volume total de 10 ml (5,8 ml de glicerina e 4,2 ml de água). A solução de glicerol 58% (m/m) corresponde a uma umidade relativa de equilíbrio de 75% (Camargos, 2022).

O recipiente foi então colocado em uma estufa com circulação de ar, com temperatura constante de 80 °C e umidade relativa controlada em 75% (Figura 13). Essas condições extremas foram selecionadas para acelerar os processos de degradação térmica e hidrolítica que os adesivos poderiam sofrer ao longo de décadas em ambientes de armazenamento ou exposição. As peças permaneceram

na estufa por um período de uma semana, iniciando no dia 3 de junho de 2025, às 16h15, e sendo retiradas no dia 10 de junho de 2025.

Figura 12: protótipos de cerâmica antes de serem colocados para envelhecimento



Fonte: Silva, 2025.

Figura 13: Material dentro da estufa (esquerda) e valores de temperatura (direita).



Fonte: Silva, 2025.

### 3.4 Ensaios adaptados de resistência à tração em junta adesiva de cerâmicas fraturadas

Os testes de resistência mecânica à tração (adaptados pela ausência de equipamento universal disponível) consistiram na aplicação de carga progressiva, variando entre 200 e 300 gramas de forma gradual, até a ruptura total da amostra (Figuras 14 e 15). Este método, permite quantificar a força necessária para causar a falha da junção ou do próprio material.

Foto 14: Elaboração dos testes de ensaio mecânico de tração adaptado nos protótipos de cerâmica.



Fonte: Silva, 2025.

Figura 15: Demonstrativo da aplicação de massas conhecidas durante o ensaio mecânico de tração (adaptado/qualitativo).



Fonte: Silva, 2025.

### 3.5 Análise colorimétrica e química dos protótipos envelhecidos artificialmente

Os protótipos antes e após o envelhecimento (aplicação do adesivo sobre cerâmicas) foram analisados em termos de parâmetros colorimétricos utilizando um colorímetro portátil que faz medidas no espaço de cor CIELab. Neste espaço de cor,  $L^*$  diz respeito à luminosidade (0 = escuro; 100 = claro),  $a^*$  corresponde à contribuição do vermelho (+) ao verde (-) e  $b^*$  à contribuição do amarelo (+) ao azul (-). Os valores foram estudados como variação (delta), comparando-se o conjunto de resultados para a coloração antes e depois do envelhecimento do adesivo aplicado sobre a cerâmica. Mediú-se também os parâmetros para a cerâmica sem adesivos, como um controle/referência.

Para se verificar se ocorreram alterações no perfil químico dos adesivos após o envelhecimento acelerado, foi realizada a espectroscopia na região do infravermelho em modo de refletância total atenuada (ATR-FTIR) (figura 16). Para tanto fragmentos dos corpos de prova ou do adesivo encontrado em cerâmicas arqueológicas reais foram analisados em equipamento ALPHA, da Bruker. A faixa analisada foi de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 24 varreduras.

Figura 16: Equipamento de FTIR com acessório de ATR (esquerda) e amostra sendo analisada (direita).



Fonte: Silva, 2025.

#### 4. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIAS E ESTABILIDADE DE ADESIVOS UTILIZADOS PARA A CONSOLIDAÇÃO IN SITU DE CERÂMICAS ARQUEOLÓGICAS

##### 4.1 Adesivos encontrados em cerâmicas arqueológicas consolidadas *in situ* e em salvaguarda ao CAALE

Com o objetivo de analisar o comportamento de adesivos naturalmente envelhecidos após o acondicionamento em reserva técnica, foram selecionadas duas peças cerâmicas arqueológicas sob guarda do Centro de Arqueologia Annette Laming-Emperaire (CAALE), ilustradas nas figuras 17 e 18, pertencem ao Sítio Rio Vermelho.

As amostras analisadas correspondem às peças RV 18, um fragmento cerâmico pintado (figura 17), e CS 36 (figura 118), fragmento não pintado com superfície texturizada. Os adesivos investigados foram aplicados *in situ* por arqueólogos durante a escavação, utilizados para consolidar os fragmentos ainda em campo. A análise teve como foco a avaliação da estabilidade química desses materiais após um período de acondicionamento em reserva técnica, assim analisando as condições reais de guarda em instituições museológicas.

Figura 17: Peça cerâmica RV18 (colada).



Fonte: Silva, 2025.

Figura 18: Peça cerâmica CS36 (colada).

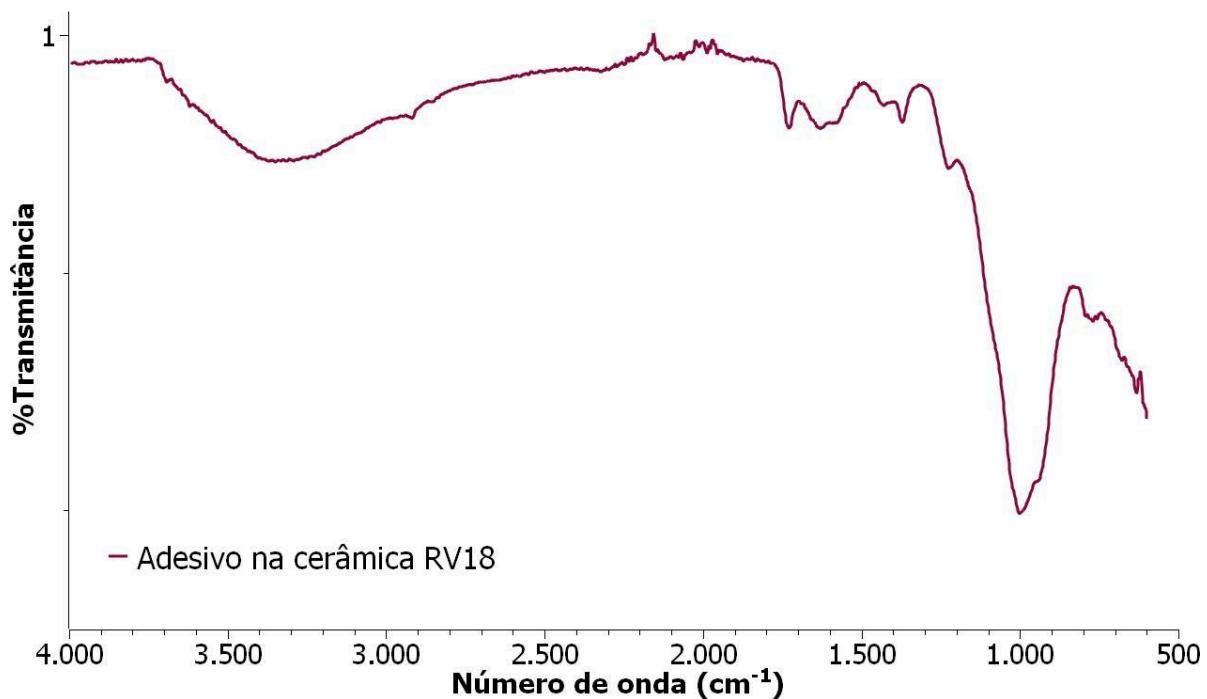


Fonte: Silva, 2025.

A espectroscopia na região do infravermelho Fourier (FTIR – *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) é uma técnica analítica utilizada para identificar grupos funcionais em materiais orgânicos e inorgânicos, além de avaliar possíveis alterações químicas. Este método foca na absorção de radiação infravermelha por determinadas ligações químicas presentes nas moléculas do material analisado, fornecendo um espectro da substância analisada.

O espectro de FTIR do adesivo presente na cerâmica RV18 (figura 19) apresenta bandas características compatíveis com materiais polissacarídicos naturais, como a goma arábica. Observa-se uma banda larga em torno de  $3300 \text{ cm}^{-1}$  (estiramento O–H), além de bandas na região entre  $1000$  e  $1100 \text{ cm}^{-1}$ , atribuídos aos estiramentos C–O e C–O–C típicos de açúcares (polissacarídeos). Esses dados sugerem que o adesivo é composto por uma goma vegetal, como a goma arábica.

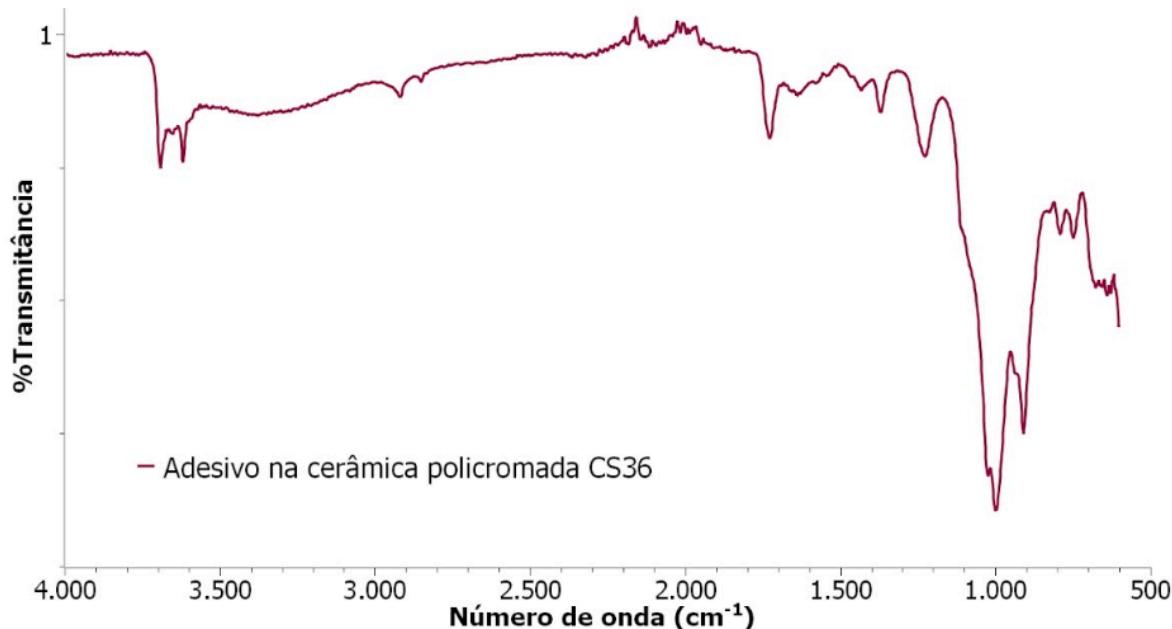
Figura 19: Espectro FTIR obtido da amostra RV 18 do adesivo presente na cerâmica.



Fonte: Camargos, 2025.

Na outra amostra de cerâmica analisada CS36 (figura 20), o espectro obtido por espectroscopia no infravermelho (FTIR) revelou um padrão de absorção compatível com a presença de um adesivo sintético à base de poli(vinil acetato) (PVA). No PVA, a razão entre a intensidade relativa da banda de absorção em cerca de  $2900\text{ cm}^{-1}$  (estiramentos C–H de grupos metila e metileno (alifáticos)) e  $1730\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C=O (carbonila) típico de ésteres, como o grupo acetato no PVA, ou em produtos de oxidação) não é significativamente diferente, o que indica que o perfil químico não se alterou com o envelhecimento. Não surgiram novas bandas ou ocorreu aumento expressivo da intensidade de bandas que poderiam indicar a degradação dos polímeros (adesivos sintéticos).

Figura 20: Espectro FTIR obtido da amostra CS36 do adesivo presente na cerâmica.



Fonte: Camargos, 2025.

De modo geral, em ambos os casos, observa-se que os adesivos se encontram rígidos e quebradiços, especialmente em CS36. Em ambos os casos, há um aparente escurecimento do adesivo também, principalmente no caso de RV18.

#### 4.2 *Ensaios mecânicos de tração adaptado para juntas adesivas em protótipos cerâmicos*

Com o objetivo de analisar a resistência mecânica de diferentes adesivos aplicados em cerâmica, foi conduzido um teste de resistência mecânica à tração adaptado em protótipos previamente colados. Como parâmetro de comparação, duas peças cerâmicas sem adesivo foram testadas, permitindo estabelecer uma média de resistência original do material sem intervenção. A partir dessa base, foi possível comparar o desempenho de quatro tipos de adesivo: PVA, resina epóxi, Paraloid B72 20% (m/m) em acetona e Paraloid B72 20% (m/m) em etanol.

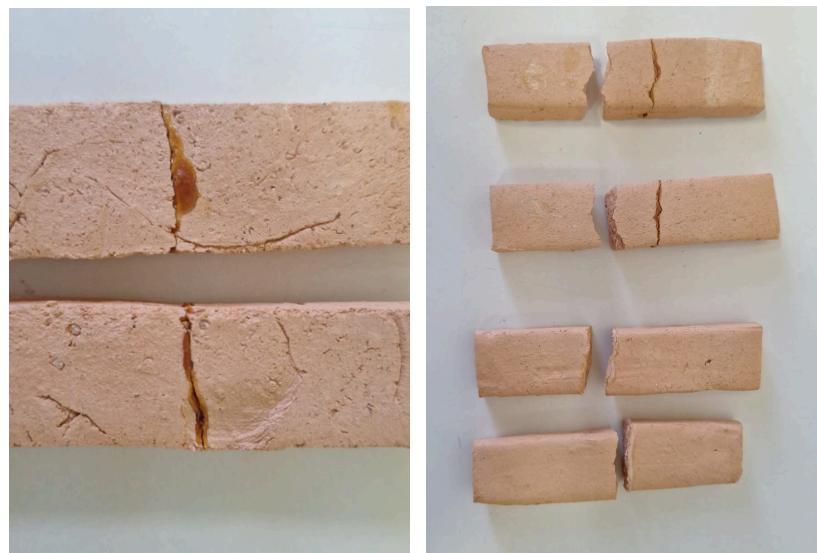
Como referência para este estudo, duas peças sem qualquer tipo de adesivo foram submetidas ao mesmo teste de tração com massas pré-definidas e sucessivamente

impostas aos protótipos, as quais tiveram ruptura com 4,598 kg e 4,855 kg de massa as tracionando.

A média desses valores (aproximadamente 4,726 kg) foi utilizada como base comparativa para aferição da resistência relativa das colagens realizadas, permitindo comparar a eficiência de cada adesivo. Isto equivale a aproximadamente  $47 \pm 2$  N de força de tração.

Antes do envelhecimento, os corpos de prova colados com PVA apresentaram ruptura com 4,560 kg e 5,531 kg. Isto equivale a aproximadamente  $50 \pm 7$  N de força média na ruptura. A ruptura ocorreu na cerâmica fora da linha de adesão (mas próximo), e não na própria união do adesivo (figura 21), o que evidencia que a força coesiva no adesivo e a adesão adesivo-cerâmica é provavelmente significativamente maior do que a própria coesão dos protótipos cerâmicos estudados. Isso pode significar um risco, pois um adesivo forte demais pode gerar tensões na estrutura da cerâmica.

Figura 21: Adesivo PVA na fratura da cerâmica envelhecida (esquerda) e após o teste de resistência à tração (direita).



Fonte: Silva, 2025.

Legenda: À direita, as duas amostras na parte superior foram envelhecidas e as duas abaixo não foram envelhecidas artificialmente.

No caso da resina epóxi, o resultado foi similar, com a ruptura também acontecendo na cerâmica e não na junta adesiva (figura 22). As massas para a ruptura foram de 6,000 kg e 4,519 kg, o que equivale a uma força média de  $53 \pm 10$  N de força.

Figura 22: Adesivo epóxi na fratura da cerâmica após o teste de resistência à tração (esquerda não envelhecido e direita envelhecido).



Fonte: Silva, 2025.

No caso do Paraloid B72 (20% em acetona), a ruptura aconteceu, em alguns casos, na linha de adesão (figura 23), o que pode indicar ocasional boa compatibilidade com a cerâmica. As massas para ruptura foram de 4,590 kg (na linha de adesão), 3,230 kg (possivelmente por falha estrutural na cerâmica, como bolha) e 5,531 kg (fora da linha de adesão). Isto equivale a aproximadamente  $42 \pm 20$  N de força de tração para a ruptura, também condizente com os valores para a própria cerâmica controle.

Figura 23: Adesivo Paraloid B72 (20% em acetona) na fratura da cerâmica (esquerda) e após o teste de resistência à tração (direita).



Fonte: Silva, 2025.

Legenda: À direita, as duas amostras na parte superior foram envelhecidas e as duas abaixo não foram envelhecidas artificialmente.

O Paraloid B72 diluído em etanol apresentou menor resistência mecânica à tração, com menor força na ruptura, que aconteceu na linha de adesão em todos os casos. As massas para ruptura foram 2,940 kg (na linha de adesão) e 3,678 kg (na linha de adesão). Isto equivale a aproximadamente  $33 \pm 5$  N de força.

Figura 23: Adesivo Paraloid B72 (20% em etanol) na fratura da cerâmica (esquerda) e após o teste de resistência à tração (direita).



Fonte: Silva, 2025.

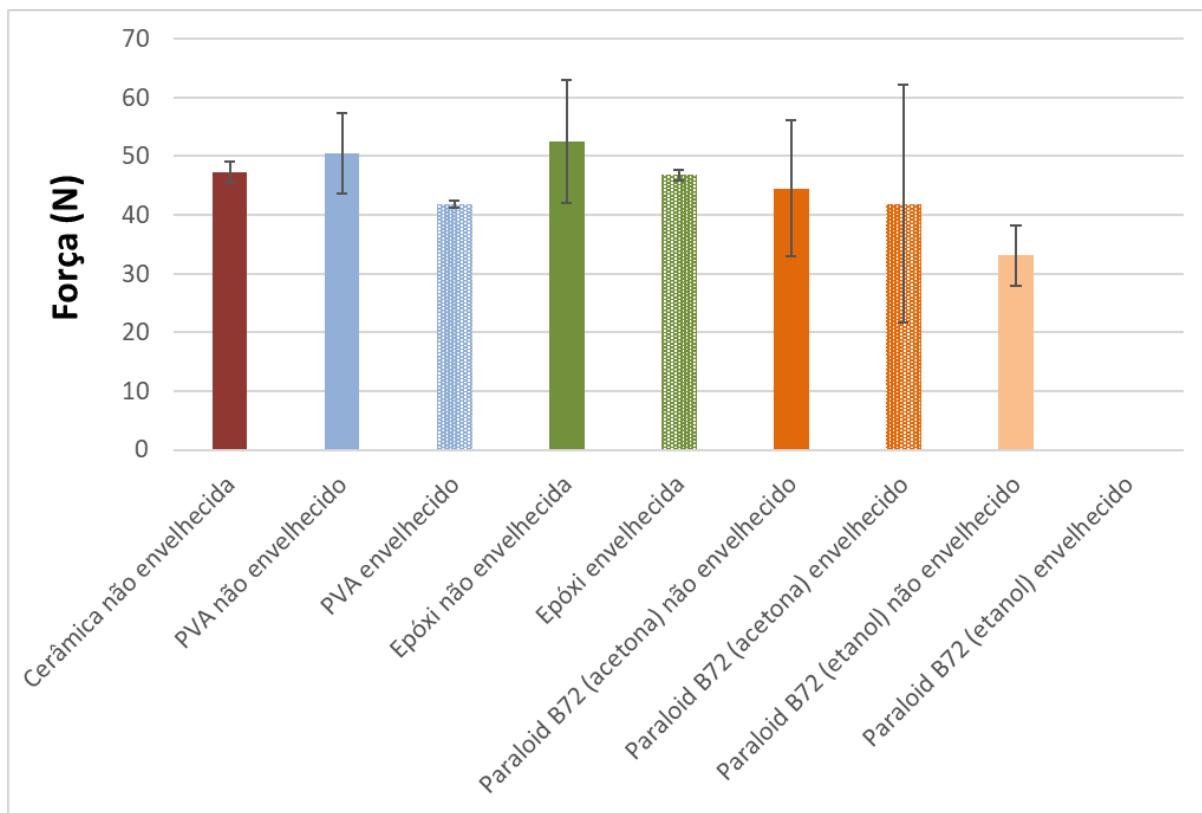
Legenda: À direita, as duas amostras na parte superior foram envelhecidas e as duas abaixo não foram envelhecidas artificialmente.

O uso do Paraloid B72 com etanol como solvente resultou em um desempenho mecânico inferior em relação à mesma resina diluída em acetona. Em ambas as amostras, a ruptura ocorreu diretamente na linha de adesão, indicando uma clara falha coesiva ou adesiva do material. Isso pode estar diretamente relacionado à maior capacidade de penetração do etanol nos poros cerâmicos, em comparação com a acetona. Uma penetração inadequada prejudica a ancoragem mecânica do adesivo no substrato, resultando em uma união mais frágil.

#### 4.3 Ensaios mecânicos de tração adaptado para juntas adesivas em protótipos cerâmicos envelhecidos artificialmente

A figura 24 apresenta os resultados consolidados do teste de resistência mecânica à tração realizado com diferentes adesivos aplicados em fragmentos cerâmicos, considerando o valor de força média (em Newtons) necessária para provocar a ruptura na linha de adesão. Foram considerados protótipos não envelhecidos e envelhecidos.

Figura 24: Ponto de ruptura dos protótipos de cerâmica (Força na ruptura – análise qualitativa).



Fonte: Silva, 2025.

O PVA não envelhecido teve média próxima a 50 N, com uma barra de erro mais acentuada, o que indica maior variação nos resultados entre as amostras. Após o envelhecimento, o valor médio caiu para cerca de 42 N, com menor desvio, mas a ruptura continuou acontecendo principalmente fora da área de adesão (figura 21).

O adesivo epóxi não envelhecido apresentou o maior valor médio de força (~52 N), com uma barra de erro significativa. Mesmo após o envelhecimento, a força na ruptura do epóxi continuou a mesma, assim como a ruptura na cerâmica e não na junta. Desse modo, a resina epóxi é muito forte e sua força coesiva e adesiva é provavelmente superior à força coesiva das peças cerâmicas utilizadas como corpos de prova.

No caso do Paraloid B72, após o envelhecimento, houve uma pequena queda na força média para 42 N, porém acompanhada de um aumento acentuado no desvio padrão para 20 N. Essa alta variabilidade sugere que, apesar da média ainda ser tecnicamente boa, o comportamento do adesivo pode ser menos consistente. Interessantemente, em todos os protótipos a ruptura ocorreu na junta adesiva, o que indica uma diminuição da resistência do adesivo após o envelhecimento, ainda que permaneça suficientemente compatível com o comportamento mecânico qualitativo das peças cerâmicas utilizadas nos experimentos. Assim, ainda que a compatibilidade do Paraloid B72 em acetona com a cerâmica em si (47 N) pareça a mais adequada dentre os adesivos estudados, por se romper na junta e não na cerâmica, a perda de resistência mecânica à tração depois do envelhecimento acelerado deve ser um ponto de atenção, pois a sua durabilidade neste contexto precisaria ser melhor explorada.

Por outro lado, o Paraloid B72 diluído em etanol apresentou um desempenho inferior já no estado não envelhecido, com força média de apenas 33 N e desvio padrão de 5 N, refletindo menor capacidade adesiva e coesão dentro do próprio adesivo em comparação à formulação com acetona. Após o envelhecimento, os corpos de prova apresentaram falha completa na adesão, não sendo possível reproduzir o ensaio de resistência à tração. Isso indica que a formulação provavelmente não resistiu ao processo de envelhecimento.

#### 4.4 Estabilidade visual, colorimétrica e química dos adesivos aplicados aos protótipos de cerâmica

No caso do PVA, observou-se uma alteração da cor do adesivo para tons amarelados/amarronzados (figura 25), característica comum em polímeros vinílicos após exposição a calor e umidade. Houve também um pequeno recesso (contração) do material e indícios leves de escorramento, sugerindo alguma alteração em sua plasticidade.

Apesar da leve alteração visual (amarelecimento e retração), porém, o PVA demonstrou manter uma boa coesão estrutural após o envelhecimento acelerado, uma vez que as quebras ainda ocorreram fora da linha de adesão. Isso indica que, mesmo sob condições de estresse térmico e de umidade, o adesivo preservou sua resistência mecânica superior à da cerâmica.

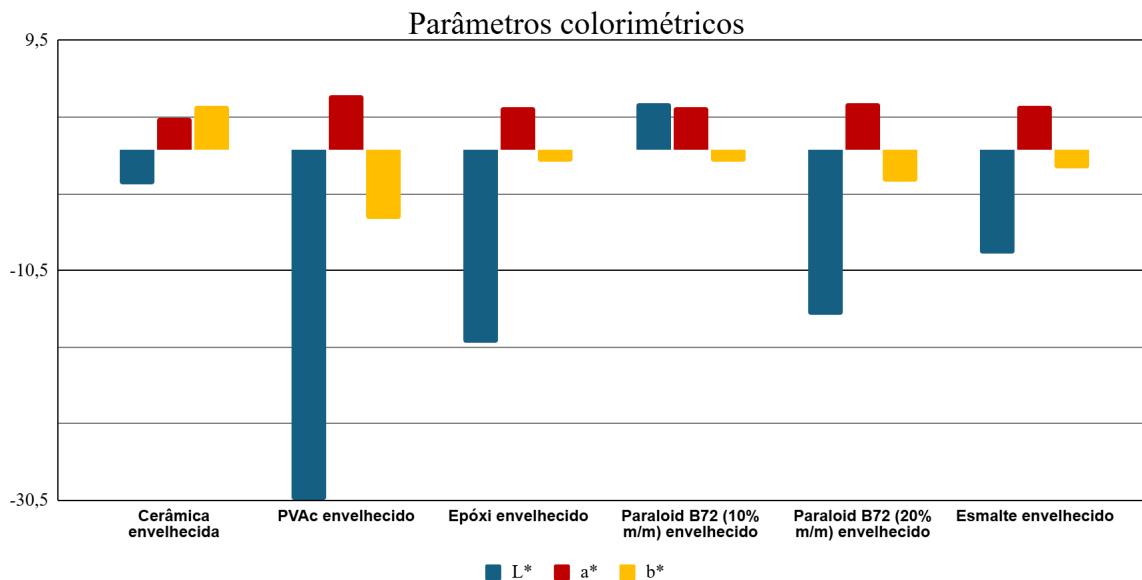
Figura 25: Adesivo PVA na superfície da cerâmica antes (esquerda) e após (direita) envelhecimento acelerado a 80 °C e 75% de umidade relativa por 7 dias.



Fonte: Silva, 2025.

A figura 26 apresenta os valores para os parâmetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) dos diferentes adesivos testados antes e após o envelhecimento. Esses parâmetros permitem avaliar quantitativamente as alterações visuais promovidas pelos materiais ao longo do tempo, como escurecimento (variação de  $L^*$ ) e mudanças tonais ( $a^*$  e  $b^*$ ).

Figura 26: Variação nos parâmetros colorimétricos dos adesivos sobre cerâmica após envelhecimento artificialmente acelerado a 80 °C e 75% de umidade relativa por 7 dias.



Fonte: Silva, 2025.

A cerâmica envelhecida foi utilizada como referência para comparação das alterações cromáticas. Apresentou escurecimento leve e variações discretas em  $a^*$  e  $b^*$ , que não são significativas. Servindo como base para avaliar a compatibilidade visual dos materiais aplicados.

O PVA apresentou o maior escurecimento entre todos os materiais analisados, com valor de  $L^*$  próximo a -30, indicando perda intensa de luminosidade. Além disso, houve alterações significativas nos eixos  $a^*$  e  $b^*$ . Esse comportamento indica uma alta instabilidade óptica e visual, tornando o PVA inadequado para aplicações que precisam garantir a neutralidade visual ou a preservação estrita da aparência original do material cerâmico.

O epóxi, mesmo após o envelhecimento acelerado, continuou a demonstrar uma excelente resistência estrutural, mas uma força superior à compatível com a cerâmica. As falhas persistiram ocorrendo na cerâmica e não na junção adesiva. As alterações visuais, como o espessamento, derramamento e amarelecimento sutil (figura 27), foram menos perceptíveis do que no caso do PVA.

Figura 27: Adesivo epóxi na superfície da cerâmica antes (esquerda) e após (direita) envelhecimento acelerado a 80 °C e 75% de umidade relativa por 7 dias.



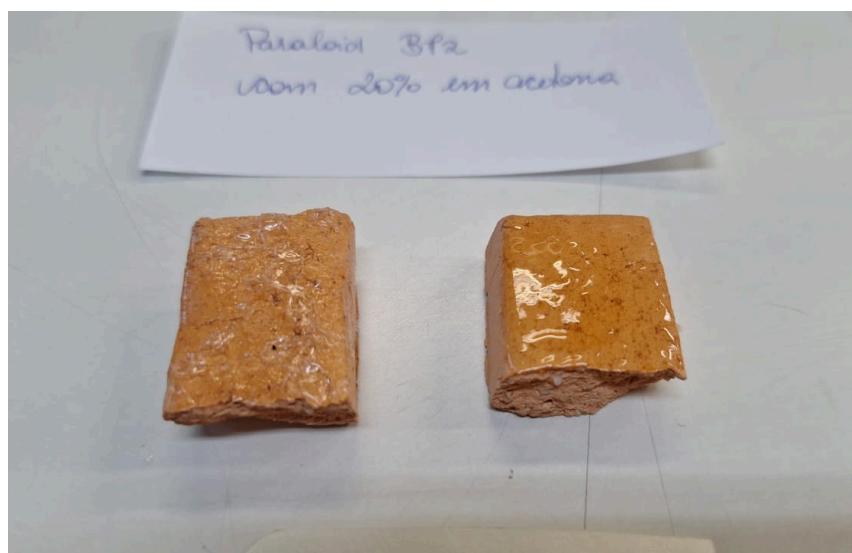
Fonte: Silva, 2025

Consistentemente, o adesivo epóxi também apresentou escurecimento relevante (diminuição de  $L^*$ ), mas menos pronunciado do que no caso do PVA.

A marcação de artefatos é uma etapa essencial para a gestão de acervos. Para isso, o esmalte incolor é frequentemente utilizado, servindo tanto como base quanto como selante para a numeração de inventário. Ao analisar os dados do "Esmalte envelhecido", é possível observar que a variação de seus parâmetros colorimétricos foi moderada e, notavelmente, próxima à do Paraloid B-72, uma resina acrílica amplamente utilizada em conservação. A variação negativa sugere um leve escurecimento, enquanto as variações indicam que a peça não desenvolveu um amarelamento ou mudança de tonalidade significativa. Embora esses resultados sugerem uma estabilidade de cor satisfatória sob as condições de teste, a estabilidade colorimétrica é apenas um dos múltiplos critérios para a seleção de materiais de conservação. Outros fatores, como a reversibilidade completa e a durabilidade a longo prazo, precisam ser considerados para garantir a integridade do artefato. Portanto, mesmo com um desempenho colorimétrico favorável, a escolha do esmalte de unhas deve ser ponderada com cautela, priorizando materiais de conservação com reversibilidade e estabilidade comprovadas.

As amostras com Paraloid B72 diluído em acetona (figura 28) evidenciaram um aumento no brilho e aparente maleabilidade do adesivo após o envelhecimento. Ainda que o amarelecimento tenha sido discreto, o que é uma vantagem estética, a falta de consistência na resistência mecânica pode limitar seu uso em situações que exigem maior garantia de resistência estrutural a longo prazo. A durabilidade, neste caso, precisaria ser melhor investigada em estudos sistemáticos futuros.

Figura 28: Adesivo Paraloid B72 em 20% (m/m) em acetona antes (esquerda) e após (direita) envelhecimento acelerado a 80 °C e 75% de umidade relativa por 7 dias.



Fonte: Silva, 2025

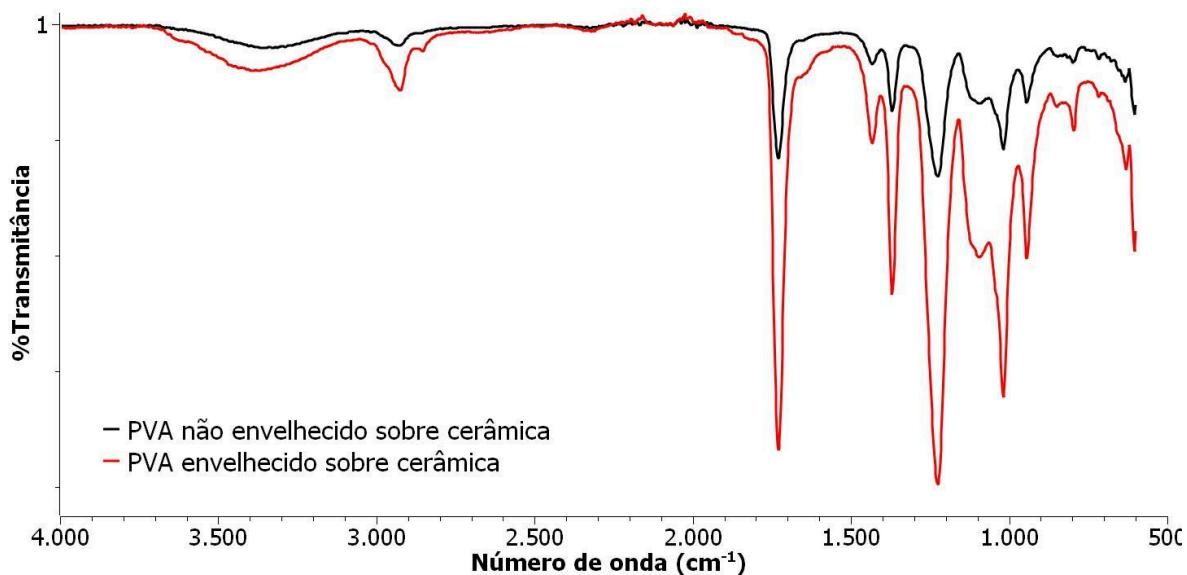
A formulação mais diluída do Paraloid B72 com etanol (10%) demonstrou escurecimento moderado, com alterações pequenas em  $a$  e  $b^*$ . Ainda que o desempenho visual tenha sido mais discreto que o de PVA e epóxi, esse adesivo apresentou comportamento mecânico de tração mais frágil do que o Paraloid B72 em acetona, tanto em termos resistência mecânica quanto ópticos. Aparentemente,

o uso de etanol como solvente compromete a estabilidade do filme formado após a aplicação, tornando-o menos eficaz a longo prazo.

Paraloid B72 20% em acetona apresentou escurecimento perceptível, porém menos intenso que o PVA e epóxi, com variações moderadas em  $a^*$  e  $b^*$ . Em comparação com a versão a 10% (mais diluída), o Paraloid a 20% formou um filme mais denso, o que pode explicar o escurecimento adicional. Ainda assim, mantém-se como uma alternativa aceitável, com desempenho visual mais estável.

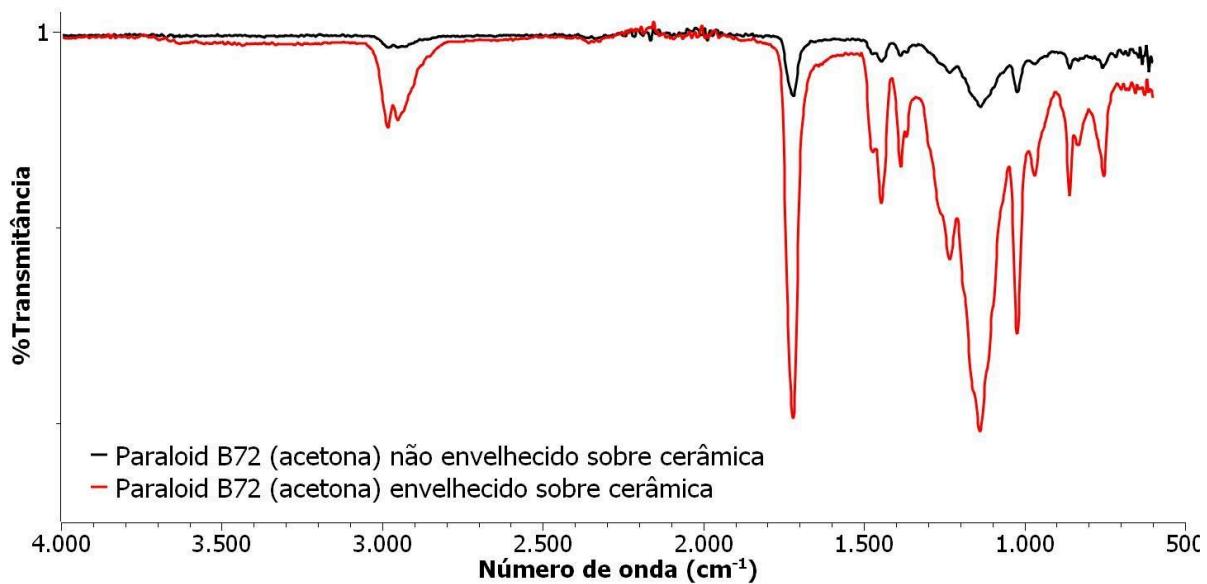
Em relação às alterações químicas, neste estudo, foi realizada a análise espectroscópica (ATR-FTIR) dos adesivos aplicado sobre suporte cerâmico, seja PVA (figura 29), epóxi (figura 30) ou Paraloid B72 (figura 31), comparando as amostras nas condições não envelhecida e envelhecida artificialmente. Como não surgiram ou desapareceram novas bandas, isto é um indício de que a estrutura química do PVA, epóxi ou Paraloid B72 não passou por mudanças significativas. Ao comparar o espectro da amostra envelhecida com o da original, nota-se que o perfil geral das bandas se mantém praticamente o mesmo. Isso mostra que a estrutura química do Paraloid B72 não sofreu alterações significativas após o envelhecimento, mantendo suas principais características. Adicionalmente, ainda que em todos os casos a intensidade relativa do espectro para os adesivos envelhecidos pareça maior do que seu correspondente não envelhecido, a razão entre a intensidade relativa das bandas continua a mesma, o que indica que não houve aumento. Por exemplo, no caso do PVA, a razão entre a intensidade relativa da banda de absorção em cerca de 2900 cm<sup>-1</sup> (estiramentos C–H de grupos metila e metileno (alifáticos)) e 1730 cm<sup>-1</sup> (estiramento C=O (carbonila) típico de ésteres, como o grupo acetato no PVA, ou em produtos de oxidação) não é significativamente diferente, o que indica que o perfil químico não se alterou com o envelhecimento. Não surgiram novas bandas ou ocorreu aumento expressivo da intensidade de bandas que poderiam indicar a degradação dos polímeros (adesivos sintéticos).

Figura 29: Espectros FTIR comparativos do PVA sobre cerâmica antes e após o envelhecimento.



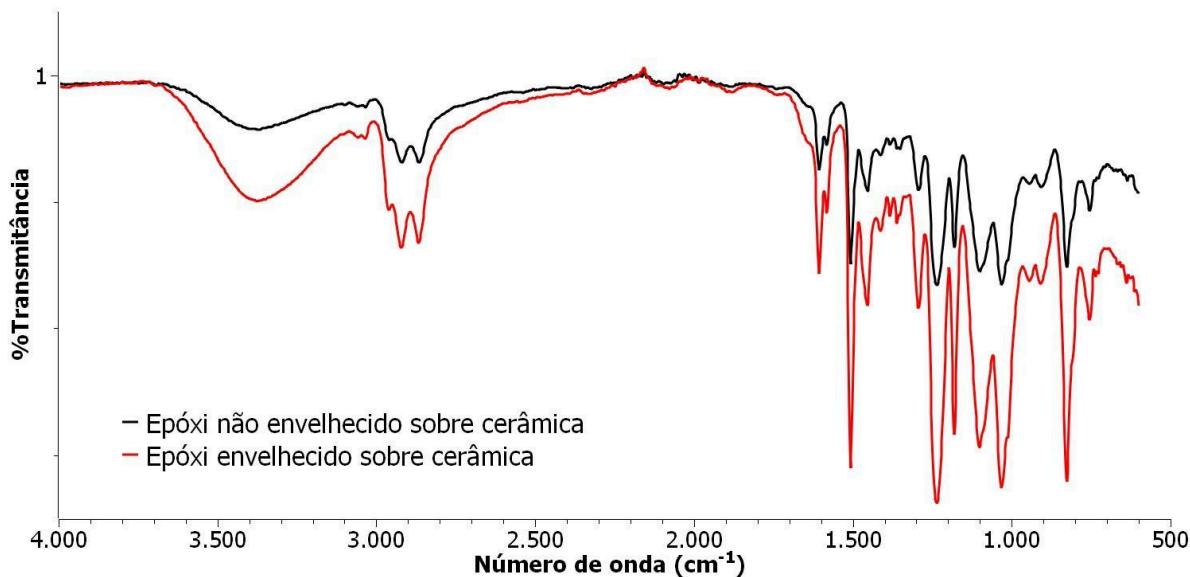
Fonte: Silva, 2025.

Figura 30: Espectros FTIR comparativos do Paraloid B72.



Fonte: Silva, 2025.

Figura 31: Espectros FTIR comparativos do adesivo Epóxi.



Fonte: Silva, 2025.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo forneceu uma análise experimental crítica sobre a eficiência e a durabilidade de adesivos que podem ser empregados na consolidação de cerâmicas arqueológicas. Os adesivos foram estudados tanto em condições iniciais quanto após um processo de envelhecimento acelerado. Os resultados destacam a complexidade na escolha do adesivo ideal, que deve equilibrar resistência mecânica à tração compatível com o substrato a ser consolidado, retratabilidade, estabilidade e compatibilidade suficiente. Através de ensaios de envelhecimento acelerado e testes mecânicos de tração adaptados em protótipos, aliados à espectroscopia no infravermelho (FTIR) e à observação colorimétrica, foi possível compreender com maior profundidade a estabilidade e os limites de uso de materiais amplamente empregados em intervenções de campo, como o PVA, o Paraloid B-72 (em diferentes solventes) e a resina epóxi.

A metodologia adotada, centrada em ensaios de tração adaptados para corpos de prova colados, permitiu estabelecer um parâmetro de referência com base na resistência à ruptura de peças cerâmicas sem adesivo (média de  $47 \pm 2$  N). A partir desse valor, foi possível estimar a intensidade qualitativa de adesão promovida por cada formulação testada: PVA, resina epóxi (Araudite®), copolímero de etil e metilmetacrilato (Paraloid® B72 a 20% (m/m) em acetona e Paraloid B72 a 20% (m/m) em etanol).

O PVA apresentou desempenho satisfatório do ponto de vista estrutural, com força média de ruptura ligeiramente superior à da cerâmica controle, tanto antes quanto após o envelhecimento. A fratura ocorreu, majoritariamente, fora da linha adesiva (área de colagem), o que indica boa coesão do filme de adesivo e adesão eficaz ao suporte cerâmico. No entanto, sua alta força adesiva pode representar um risco a longo prazo, pois quando a adesão supera significativamente a resistência do substrato, há potencial para geração de tensões internas e danos localizados, especialmente em cerâmicas frágeis ou heterogêneas. Além disso, o PVA apresentou alto grau de escurecimento após o envelhecimento, o que compromete sua adequação em intervenções que exigem estabilidade visual.

A resina epóxi demonstrou a maior resistência mecânica entre os adesivos testados (média de  $53 \pm 10$  N), com ruptura sempre ocorrendo na cerâmica, nunca na linha adesiva. Embora essa robustez seja vantajosa do ponto de vista estrutural, o mesmo alerta mencionado para o PVA se aplica, uma vez que uma adesão muito superior à resistência da cerâmica pode resultar em fraturas futuras, caso ocorram tensões térmicas, mecânicas ou ambientais. Do ponto de vista estético, o epóxi apresentou leve amarelecimento, mas manteve relativa estabilidade visual e química, sem alteração significativa em sua estrutura molecular, conforme apontaram os espectros de FTIR.

O Paraloid B72 diluído em acetona se mostrou o adesivo com comportamento mais próximo da cerâmica em termos de resistência mecânica. Antes do envelhecimento, a média de ruptura foi de  $42 \pm 20$  N, com variações entre rupturas dentro e fora da linha de adesão. Após o envelhecimento, observou-se queda moderada da força

média e aumento do desvio padrão, indicando perda de consistência dos resultados relativos à resistência mecânica à tração. Ainda assim, sua estabilidade visual foi superior à do PVA, com escurecimento discreto e sem alteração química significativa. O fato de o Paraloid B72 se romper preferencialmente na linha de adesão após o envelhecimento pode ser interpretado positivamente, pois demonstra compatibilidade com o suporte cerâmico, já que, em caso de tensões, a fratura tende a ocorrer na cola, e não no objeto original, o que é desejável em práticas conservativas que priorizam a mínima intervenção e a reversibilidade. No entanto, a diminuição da força demandada para a fratura indica que estudos sistemáticos são ainda necessários para que se investigue a durabilidade deste tipo de intervenção em cerâmicas, considerando condições similares.

Já o Paraloid B72 diluído em etanol apresentou desempenho insuficiente. Desde o início, sua força de adesão foi inferior ( $33 \pm 5$  N), e após o envelhecimento, as amostras falharam completamente, com perda total da união. Apesar de sua estabilidade visual aceitável, a baixa coesão e a adesão frágil inviabilizam seu uso em consolidações estruturais. A provável penetração excessiva do etanol na cerâmica, prejudicando a formação do filme adesivo, pode explicar essa performance negativa. Além disso, a falha uniforme entre as amostras indica que se trata de um comportamento intrínseco da formulação, e não de variações pontuais.

Os resultados obtidos indicam que, apesar da manutenção da estrutura química fundamental dos polímeros (adesivos) testados, as alterações colorimétricas podem indicar processos iniciais de degradação, como oxidação. Além disso, mudanças visíveis na coloração e na textura dos adesivos após o envelhecimento apontam para impactos físicos relevantes, como o aumento da rigidez e da fragilidade, que podem comprometer a eficácia e a removabilidade/retratabilidade das colagens a longo prazo.

A análise comparativa também permitiu observar diferenças de desempenho entre os solventes utilizados com o Paraloid B-72, evidenciando que a escolha do meio de diluição influencia diretamente a aderência e a resistência mecânica à tração final das consolidações. Tais resultados reforçam a importância da avaliação dos materiais empregados do ponto de vista da conservação, considerando tanto suas propriedades iniciais quanto seu comportamento ao longo do tempo.

Dessa forma, este trabalho buscou contribuir para o aprimoramento das práticas de conservação de cerâmicas arqueológicas, promovendo o diálogo entre teoria e prática, bem como entre diferentes campos do saber. Ao destacar os impactos das escolhas materiais sobre a longevidade dos artefatos, esta pesquisa visa oferecer subsídios técnicos e teóricos para intervenções mais criteriosas e sustentáveis, voltadas à salvaguarda de bens culturais de inestimável valor histórico e científico.

Mais do que determinar uma solução definitiva, este trabalho buscou fomentar uma reflexão crítica sobre o uso de adesivos em práticas de consolidação *in situ*, frequentemente realizadas sem o devido acompanhamento de um conservador-restaurador. Ao destacar os riscos e as consequências dessas decisões, a pesquisa pretende oferecer subsídios para intervenções mais conscientes e sustentáveis, alinhadas aos princípios éticos da conservação e à preservação da integridade material e simbólica dos bens arqueológicos.

## 6. REFERÊNCIAS

- Almada, A. N. **Restauração de cerâmica popular contemporânea do Vale do Jequitinhonha: um estudo de critérios, materiais e técnicas** [manuscrito]. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Conservação e Restauração) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- Barreto, C.; Lima, H. P.; Betancourt, C. J. (org.). **Cerâmicas arqueológicas da Amazônia: rumo a uma nova síntese**. Belém: Iphan; Ministério da Cultura, 2016.
- Bruno, M. C. O. **Plano museológico**. Lagoa Santa, MG: Centro de Arqueologia Annette Laming Emperaire (CAALE), 2009.
- Camargos, C. H. M. et al. **Strategies to mitigate the synergistic effects of moist-heat aging on TEMPO-oxidized nanocellulose**. *Polymer Degradation and Stability*, v. 200, p. 109943, 2022.

Carvalho, F. B. B. de. **Levantamento e caracterização de adesivos e materiais de preenchimento utilizados na preservação de cerâmica arqueológica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Conservação e Restauro) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016.

Chavarria, J. **A cerâmica: a técnica da cerâmica explicada com rigor e clareza**. Lisboa: Editorial Estampa, 2004. (Coleção Artes e Ofícios).

Del'Arco, E. **Técnicas para conservação e restauração da cerâmica arqueológica**. *Clio – Série Arqueológica*, n. 10, 1994.

Figueiredo Junior, J. C. D. **Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução**. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2012.

Froner, Y.-A. **Conservação preventiva e patrimônio arqueológico e etnográfico: ética, conceitos e critérios**. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, São Paulo, n. 5, p. 291–301, 1995.

Garside, P.; Richardson, E. **Conservation science: heritage materials**. Londres: Royal Society of Chemistry, 2022.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan). **Portaria nº 375, de 19 de setembro de 2018**. Institui a Política de Patrimônio Cultural Material do Iphan e dá outras providências. Brasília, DF, 2018. Disponível em: [https://sei.iphan.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&id\\_documento=732090](https://sei.iphan.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&id_documento=732090). Acesso em: 1 jul. 2025.

Lima, S. C. **Especificidades na restauração de cerâmicas arqueológicas: um estudo de caso**. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, São Paulo, n. 12, p. 269–281, 2002.

Lonkhuijzen, D. M. van. **Restauração e sua importância na preservação e conhecimento do patrimônio arqueológico**. ResearchGate, dez. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/366445494>. Acesso em: 1 jul. 2025.

Maia, L. P.; Sanjad, T. A. B. C.; Lima, H. P. A teoria contemporânea do restauro e as cerâmicas arqueológicas da Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*.

*Ciências Humanas*, Belém, v. 16, n. 1, e20190085, 2021. Disponível em: <https://boletimgoeldi.museu-goeldi.br>. Acesso em: 1 jul. 2025.

Poloni, R. J. S. et al. Conservação pública e patrimônio como marca de lugar: diálogos com o campo da arqueologia. *Cadernos do Lepaarq*, Ijuí, v. 18, n. 36, p. 50–64, jul./dez. 2021.

Prous, A. **Arqueologia brasileira**. Brasília: Editora UnB, 1992.

Scientia Consultoria Científica S/C Ltda. **Arqueologia preventiva na área de intervenção da linha de transmissão 500 kV Neves 1 - Mesquita (MG): relatório complementar de análises de laboratório**. Belo Horizonte: Scientia Consultoria Científica S/C Ltda., 2010.