

# 4 CIHCLB

4º Congresso Internacional de  
História da Construção Luso-Brasileira

Universidade do Minho, Guimarães, Portugal



## Editores

**Paulo B. Lourenço**  
**Carlos Maia**  
**Arnaldo Sousa Melo**  
**Clara Pimenta do Vale**



Universidade do Minho



**TECMINHO**  
UNIVERSIDADE DO MINHO INTERFACE

# Atas do 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira

4-7 setembro 2023, Guimarães, Portugal



Ambientes em mudança

**Editores:**

Paulo B. Lourenço, Carlos Maia, Arnaldo Sousa Melo, Universidade do Minho  
Clara Pimenta doVale, Universidade do Porto

*Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação ou das informações aqui contidas pode ser reproduzida, armazenada em sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, por fotocópia, gravação ou outro, sem permissão prévia por escrito do editor.*

*Os artigos desta Ata são publicados na forma submetida pelos autores após revisão científica. Pequenas alterações foram feitas onde erros e discrepâncias óbvias foram encontradas.*

*Os editores não assumem qualquer responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e possíveis imprecisões. Embora todos os cuidados sejam tomados para garantir a integridade e qualidade desta publicação e das informações aqui contidas, nenhuma responsabilidade será assumida pelos editores ou pelo autor por qualquer dano a propriedades ou pessoas como resultado da operação ou uso desta publicação e pelas informações desta publicação.*

@ Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Guimarães, Portugal

#### Patrocinadores:

**dstgroup**  
building culture



**kerakoll**  **CASAIS**



ISBN: 978-989-54496-9-9



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Civil, Azurém, P-4800-058  
Guimarães  
Tel.: 253510200 Fax: 253510217  
Email: [sec.estruturas@civil.uminho.pt](mailto:sec.estruturas@civil.uminho.pt)

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Versão eletrónica, 2023

---

## INTRODUÇÃO

O 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira (4ºCIHCLB) teve lugar em Guimarães, Portugal, de 4 à 7 de setembro de 2023.

O 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira (4ºCIHCLB) é um fórum de debate dos estudos recentes sobre a história dos processos construtivos, entre Portugal e o Brasil, e as suas múltiplas influências. Os anteriores congressos da série de Congressos Internacionais de História da Construção Luso-Brasileira (CIHCLB) tiveram lugar em Vitória, Espírito Santo (Brasil) em 2013, Porto (Portugal) em 2016, e Salvador, Bahia (Brasil) em 2019.

O tema especial do congresso, Ambientes em Mudança, visa discutir do ponto de vista histórico, e nas diversas épocas, as grandes mudanças que resultaram, por exemplo, do desenvolvimento de novas materiais e sistemas construtivos, de novos sistemas produtivos ou organizacionais, de alterações de quadros legais, ou os impactos das transposições para novos territórios, ou de grandes catástrofes. O tema reflete também os enormes desafios atuais e também passados, que incluem nomeadamente as alterações climáticas, a resiliência do ambiente construído e sistemas altamente complexos, ou a necessidade de assegurar um património vivo, em que o património construído, nas suas vertentes material e imaterial, e a partilha de culturas construtivas têm um contributo essencial para apoiar uma sociedade mais inclusiva.

Neste âmbito, compreender o modo como se construiu num determinado lugar e num dado período histórico – com que materiais, técnicas, máquinas e tipos de organização do trabalho – implica os contributos de várias disciplinas. Referem-se, nomeadamente, a Arquitetura, a Arqueologia e a Engenharia, mas também a História Económica e Social, a História da Ciência e das Técnicas de Construções, a Geografia Física, a Conservação e Restauro, a Ciência dos Materiais e várias outras. O programa do congresso inclui seis sessões plenárias e cerca de 20 sessões temáticas que abrangem esta diversidade.

O objetivo dos organizadores foi fazer do congresso o local de excelência para a divulgação dos mais recentes desenvolvimentos científicos e técnicos e para a troca de novas ideias em temas emergentes. Estamos certos que este objetivo vai ser cumprido e esperamos que os participantes possam apreciar o programa técnico e social planeado para a acolhedora cidade de Guimarães, património mundial UNESCO.

Este livro inclui mais de 300 autores e cerca de 150 contribuições. Esta série de congressos beneficia imensamente da junção de jovens (e o futuro da comunidade) e profissionais consolidados. Agradecemos aos autores e apresentadores, bem como aos patrocinadores, sem os quais o congresso não seria possível, e estamos certos que esta é uma oportunidade para troca de conhecimento, novas amizades, reencontros e um tempo bem passado no Berço de Portugal.

Guimarães, setembro 2023

Paulo B. Lourenço, Carlos Maia, Arnaldo Sousa Melo, Universidade do Minho  
Clara Pimenta do Vale, Universidade do Porto

---

## **ORGANIZAÇÃO**

### **Comissão Organizadora**

Paulo B. Lourenço (Universidade do Minho)  
Carlos Maia (Universidade do Minho)  
Arnaldo Sousa Melo (Universidade do Minho)  
Clara Pimenta do Vale (Universidade do Porto)

### **Comissão Executiva**

Paulo B. Lourenço (Universidade do Minho)  
Graça Vasconcelos (Universidade do Minho)  
Elisa Poletti (Universidade do Minho)

### **Comissão Científica**

#### **Nacional**

Rui F. Póvoas (Universidade do Porto)  
*Presidente da Comissão Científica Nacional*

Alberto Barontini (Universidade do Minho)  
Alice Tavares (Universidade de Aveiro)  
Amélia Aguiar Andrade (Universidade Nova de Lisboa)  
Ana Cardoso Matos (Universidade de Évora)  
Ana Tostões (Universidade de Lisboa)  
Ana Velosa (Universidade de Aveiro)  
André Fontes (Universidade do Minho)  
António Gago (Universidade de Lisboa)  
Arnaldo Sousa Melo (Universidade do Minho)  
Carlos Maia (Universidade do Minho)  
Clara Pimenta do Vale (Universidade do Porto)  
Eduarda Silva Vieira (Universidade Católica Portuguesa)  
Elisa Poletti (Universidade do Minho)  
Elisiário Miranda (Universidade do Minho)  
Fernanda Rollo (Universidade Nova de Lisboa)  
Graça Vasconcelos (Universidade do Minho)  
Hélder Carita (Universidade Nova de Lisboa)  
Hélder S. Sousa (Universidade do Minho)  
Humberto Varum (Universidade do Porto)  
João Caldas (Universidade de Lisboa)  
João M. Pereira (Universidade do Minho)  
Jorge Correia (Universidade do Minho)  
José Aguiar (Universidade de Lisboa)  
José Mirão (Universidade de Évora)  
Luísa Trindade (Universidade de Coimbra)  
Madalena Cunha Matos (Universidade de Lisboa)



---

Maria do Carmo Ribeiro (Universidade do Minho)  
Mariana Correia (Universidade Portucalense)  
Mário Barroca (Universidade do Porto)  
Nicola Chieffo (Universidade do Minho)  
Paulo B. Lourenço (Universidade do Minho)  
Pedro Alarcão (Universidade do Porto)  
Joaquim Teixeira (Universidade do Porto)  
Rafael Moreira (Universidade Nova de Lisboa)  
Raimundo Mendes da Silva (Universidade de Coimbra)  
Rosário Veiga (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)  
Rui Marques (Universidade do Minho)  
Rui A. Silva (Universidade do Minho)  
Saul António Gomes (Universidade de Coimbra)  
Soraya Genin (Instituto Universitário de Lisboa)  
Teresa Ferreira (Universidade do Porto)  
Teresa Valsassina Heitor (Universidade de Lisboa)

#### **Internacional**

Mário Mendonça de Oliveira (Universidade Federal da Bahia)  
*Presidente da Comissão Científica Internacional*

Adalberto Vilela (Universidade Federal de Uberlândia)  
Beatriz Piccolotto Siqueira Bueno (Universidade de São Paulo)  
Eduardo Romero de Oliveira (Universidade Estadual Paulista)  
Eliane Aparecida Del Lama (Universidade de São Paulo)  
Fernando Atique (Universidade Federal de São Paulo)  
José Manoel Morales Sánchez (Universidade de Brasília)  
José Simões de Belmont Pessôa (Universidade Federal Fluminense)  
José Tavares Correia de Lira (Universidade de São Paulo)  
Juliano Caldas de Vasconcelos (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)  
Julio Cesar Ribeiro Sampaio (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)  
Kátia Santos Bogéa (Fundação Municipal de Patrimônio Histórico de São Luís)  
Larissa Acatauassu Nunes Santos (Universidade Federal da Bahia)  
Leonardo Barci Castriota (Universidade Federal de Minas Gerais)  
Luciene Pessotti Souza (Universidade Federal do Espírito Santo)  
Marco Antônio Penido de Rezende (Universidade Federal de Minas Gerais)  
Marcos Tognon (Universidade Estadual de Campinas)  
Maria Herminia Olivera Hernandez (Universidade Federal da Bahia)  
Maria Lucia Bressan Pinheiro (Universidade de São Paulo)  
Maria Luiza Macedo Xavier de Freitas (Universidade Federal de Pernambuco)  
Maria Rita Amoroso (MRA Studio)  
Nelson Pôrto Ribeiro (Universidade Federal do Espírito Santo)  
Pedro Murilo de Freitas (Universidade Federal de Sergipe)  
Regina Andrade Tirello (Universidade Estadual de Campinas)  
Renata Hermann de Almeida (Universidade Federal do Espírito Santo)

Rodrigo Espinha Baêta (Universidade Federal da Bahia)  
Rosana Muñoz (Universidade Federal da Bahia)  
Rosina Trevisan Martins Ribeiro (Universidade Federal do Rio de Janeiro)  
Thais Alessandra Bastos C. Sanjad (Universidade Federal do Pará)  
Vladimir Benincasa (Universidade Estadual Paulista)

### **Secretariado**

Ana Fonseca  
Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
4800-058 Guimarães - Portugal  
Tel +351 253 510 498  
Email: [info@4cihclb.pt](mailto:info@4cihclb.pt)

---

## ÍNDICE

Oradores Convidados Keynote Lectures	1
Janelas de Carepas em Goa: origens e variantes tipológicas <i>Hélder Carita</i>	3
Pedras do Patrimônio Portuguesas no Brasil <i>Eliane del Lama</i>	15
Termas Romanas de São Pedro do Sul <i>João Mendes Ribeiro</i>	25
Patrimônio azulejar na Amazônia: a história entre os desafios da preservação e a transformação das construções na cidade de Belém <i>Thais Sanjad</i>	35
<b>Materiais e Técnicas de Construção Materials and Construction Techniques</b>	<b>51</b>
Caracterización de los frescos de la iglesia de Santa Leocadia (Chaves, Norte de Portugal) <i>Eunice Salavessa, Ana J. López, Alberto Ramil, David M. Freire-Lista</i>	53
Reconstrução e estudo comparativo do uso de mica em argamassa de revestimento <i>Julia da Rosa Martins, Anna Freitas Portela de Souza Pimenta, Philippe Jean Paul Gleize</i>	65
A utilização de taipa em construções defensivas – contributo para a sua conservação <i>Miguel Rocha, Paulina Faria, António Gago</i>	77
(Re)discovering ‘in falso’ walls: historical-architectural roots of a lost masonry technique <i>Vittorio Gusella, Riccardo Liberotti, Paulo B. Lourenço</i>	89
Ler e intervir no patrimônio pré-fabricado: arte e indústria na obra de Lelé <i>Ceila Cardoso, Rosana Muñoz, Marcos Tognon</i>	101
A hibridação e o sincretismo cultural na evolução do território Sertanejo do Nordeste do Brasil: sistemas construtivos vinculados aos modos de vida e ao lugar <i>Darlan Lima, Cidália Silva, Sofia Bessa</i>	113
O Complexo monumental de criação Porqueira de Salvaterra do Extremo: Estudo de caso de uma furda em falsa cúpula <i>João Salvado</i>	127
Da ponte à plataforma: breve histórico do concreto protendido no Brasil	141



*Juliano Vasconcellos, Elcio Gomes*

Contributos para a história da construção em falsa cúpula do noroeste de Portugal: análise, caracterização e reconhecimento do valor cultural <i>Carlos E. Barroso, Fernando C. Barros, Daniel V. Oliveira, Clara Pimenta Do Vale</i>	153
Sistema defensivo abaluartado no vale do rio Minho: identificação das técnicas construtivas, mecanismos e materiais <i>Tiago Rodrigues, Ana M. T. Martins-Nepomuceno, João Cabeleira</i>	165
O papel do ambiente interno na deterioração dos vitrais modernos da capital paraense no norte do Brasil: abordagem in situ <i>Amanda Loureiro, Thais Sanjad, Márcia Vilarigues, Luis Alves, Maria Filomena Macedo and Teresa Paloma</i>	177
La construcción de altares de madera en los siglos XVII y XVIII. La literatura técnica y los ejemplos <i>Martina Adami, Alberto Grimoldi, Angelo Giuseppe Landi</i>	191
Permanências e persistências da territorialização Luso-Brasileira em Vitória, Espírito Santo, Brasil. O “Quarteirão da Muniz Freire” como sedimento patrimonial <i>Vera Vieira Lima, Renata de Almeida</i>	203
A edificação da dupla muralha medieval de Guimarães: materiais e técnicas construtivas <i>Glória Maria Ferreira, Maria do Carmo Ribeiro</i>	215
Muro de tapia del siglo XVI en la isla de Santo Domingo. Caso: hospital San Nicolás de Bari <i>Virginia Flores-Sasso, Sagrario Martínez-Ramírez, Esteban Prieto-Vicioso, Letzai Ruiz-Valero</i>	227
Impact of sea spray on the building heritage materials in the Sala city. “Pre-industrial construction” <i>Anas Otmani, Abdeslam Lachhab, Siham Belhaj, Zakaria Boujamlaoui, Abdelfettah Benchrif, Mounia Tahri, Mohamed El Bouch, El Mahjoub Chakir</i>	237
Arquitetura industrial na cidade de Manaus: estudos de caso <i>Silveli M. T. Russo</i>	249
Tipologias estruturais de tetos em estuque do palácio da bolsa na cidade do Porto (Portugal) <i>Rebecca Reis, Martha Tavares, João Guedes, Eduarda Vieira</i>	261
Os edifícios do eixo de conexão de Recife, PE: as transformações na cultura material e técnica ao longo de quatro séculos <i>Maria Luíza Macedo Xavier de Freitas, Rafael De Alcantara Borges</i>	273
Adaptación de las formas constructivas a contextos locales por parte de ingenieros militares durante el siglo XVIII, el caso de Campeche, Nueva España	285

---

*Monica Cejudo, Pedro Gomez Molina*

Investigação das argamassas de assentamento de azulejos históricos da arquitetura mortuária do cemitério nossa senhora da soledade: características e herança cultural Luso-Brasileira 293

*Brenda Corrêa, Alexandre Loureiro, Thais Sanjad, Marcondes Costa, Pablio Santo*

Islamic (Arab) baths in the Iberian Peninsula. A contribution to the history of their construction and issues related to the preservation of these Moorish monuments 305

*Eleni Kanetaki*

Praia da Areia Branca – história e arquitetura de uma estância balnear no Oeste 317

*José Cruz, Marlucci Menezes, Vanessa Antunes*

Arquiteturas para a cidadania, projetos pré-fabricados: Centro Integrado de Educação Pública (CIEP) e Fábrica de Escolas no Rio de Janeiro (1983-1987) 327

*Michel H. C. Vale*

Assessment of ferrous building materials 339

*Maria João Correia, Rute Fontinha, Elsa Eustáquio*

Edificações de uso público dos séculos XVIII e XIX em Tiradentes, Minas Gerais, Brasil: a predominância de técnicas construtivas em pedra 347

*Araújo Maria Eliza Marzano Moraes, Maria Lucia Bressan Pinheiro*

Ordens religiosas e os caminhos de barro da baixada Campista 359

*Humberto Chagas*

Implementation of preservatives in historic and contemporary stone buildings in Kazimierz Dolny (Poland) 371

*Alicja Bobrowska, Ewa Jagoda, Andrzej Domanik, Weronika Żurawicka*

Caracterização mineralógica de argamassas em restauros antigos de azulejaria e embrechado Português – os casos de Maceió (AL) e Salvador (BA) 391

*Mayara Di Castro Silva, Marienne Do Rocio De Mello Maron Da Costa, Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa, Isabel Torres*

Resettlement housing in Macau. Faces of Lusophone built environments in East Asian Territory 403

*Niccolò Arnaldo Galliano*

Vernacular vaulted houses in southern Europe 413

*Mafalda Batista Pacheco*

A Evolução Construtiva de Braga: Padrões e Tipologias 425

*Bárbara C. Peixoto, André C. Fontes, Jorge M. Branco*

Entre a mimésis, a analogia e o contraste – uma frente de análise no mercado do Bolhão 439

*Rita Machado Lima, Juliano Ribas, Nuno Valentim*

Arqueologia e Geologia: as argamassas antigas de Braga (séc. I - séc. VII), Noroeste da Península Ibérica <i>Jorge Ribeiro, Ana Fragata</i>	453
Tipologia Intraurbana do Centro Histórico da cidade de Belém <i>Gisa H. M. Bassalo, Rachel S. F. Benzecry, José M. C. Bassalo</i>	465
Abóbadas de Tijolo na Arquitetura do Baixo Alentejo: o Caso de Serpa <i>Sérgio Costa, João Vieira Caldas, Mafalda Pacheco</i>	477
Estruturas arquitetónicas do sítio arqueológico morro da queimada em Ouro Preto, MG: um primeiro estudo das técnicas em alvenaria de pedra <i>Fernanda A. B. Bueno, Eloina Carolina F. Paes, Marcus Vinícius C. Silva, Lívea D. Borges</i>	489
Materiais e técnicas construtivas aplicadas em arquitetura residencial rural na residência oficial de Miramar em Belém, Pará, Brasil <i>Giulia Motta, Roseane Norat, Alexandre Loureiro, Thaís Sanjad</i>	503
Análisis nel mortero de cal histórico y su aplicación en el patrimonio de la República Dominicana <i>Esteban Prieto-Vicioso, Virginia Flores-Sasso, Letzai Ruiz-Valero</i>	515
DB-HERITAGE - Data on construction materials history <i>Maria João Correia, António Santos Silva, Rute Fontinha</i>	527
Reinterpretation of the historical “Abeille” masonry vault <i>Maria Francesca Sabbà, Fabio Rizzo, Dora Foti, Paulo B. Lourenço</i>	537
Study of the Iranian vaults, based on historic aspects, typologies and geometric rules to reveal the long-term stability reasons <i>Arezu Feizolahbeigi, Paulo B. Lourenço</i>	549
Impact of Construction Materials on the Perception, Aesthetics and Social Life in and around the Temple Sites of Old Bhubaneswar, Odisha (India) <i>Imran Ubam, Smriti Saraswat</i>	563
Post-seismic interventions in Sicily in the first half of the 19th century <i>Federica Scibilia, Alessandro Lo Faro</i>	575
Avaliação das propriedades do concreto de pós reativos com diferentes classes de cimento <i>Ângela Costa Piccinini, Amanda, Cascaes Mazzucco, Elaine Pavei Antunes</i>	587
Palacete Marieta Teixeira de Carvalho: análise histórica e do estado de conservação geral <i>Sandra S. B. Saraiva, Danilo F. de Paula</i>	599
Terra como material de construção no contexto do ensino universitário em Portugal <i>Rute Eires, Ana Velosa</i>	615

---

Reutilização/reaproveitamento de ladrilhos hidráulicos com elevado estágio de deterioração antes do descarte <i>Carolina Gester, Thais Sanjad</i>	625
Constructive, stylistical and iconographic characterization of a neo-gothic mausoleum of Conchada cemetery <i>Jorge Mascarenhas, Fernando G. Branco, Lurdes Belgas</i>	633
Avaliação estrutural das abobádas e muralhas do Real Forte Príncipe da Beira <i>Rosana Muñoz, Mário Mendonça de Oliveira, Larissa Corrêa Acatauassú Nunes Santos, Elias José de Almeida Machado, Emanuele de Oliveira Teixeira</i>	643
<b>Organização da atividade de construção e sociedade</b>	<b>655</b>
<b>Organization of construction activity and society</b>	
Ética, técnica e estética na atuação profissional de Lelé <i>Elcio Silva, José Manoel Sánchez</i>	657
Do vernacular à habitação de interesse social: formação de mestres construtores no uso de ecotécnicas na construção de moradias <i>Marcos Tognon, Valdemir Lúcio Rosa, Jane Tassinari Fantinelli, Victor Chinaglia, Jânio Carneiro</i>	669
Construção participativa. O programa Saal e as habitações sociais de Álvaro Siza <i>Soraya Genin, Pedro Pinto, Tomás Mesquita</i>	677
Taipas, canteiros e taapeiros – a diversidade dos trabalhadores da arquitetura e construção com terra de São Paulo no século XIX <i>Bianca S. Joaquim, João Marcos A. Lopes</i>	691
História e tecnologia nos canteiros brasileiros: uma abordagem sobre os operários da construção <i>Eduarda Alberto, Marcos M. Silvano</i>	703
<b>Disseminação do conhecimento científico e técnico</b>	<b>715</b>
<b>Dissemination of scientific and technical knowledge</b>	
Os engenheiros civis, o neoclacissismo e a ciência da construção – Rio de Janeiro, 2ª metade do século XX <i>Nelson Porto Ribeiro</i>	717
As imagens como fonte para o conhecimento da evolução das técnicas dos canteiros <i>Julie Prevost, Ana Cardoso De Matos, Antónia Fialho Conde</i>	725
Damage and failure mechanisms in masonry constructions <i>Angelo Gaetani, Paulo B. Lourenço</i>	737

---

Dimensões tradicionais do projeto urbano em cidades portuguesas: do terramoto à república <i>Rui Florentino, Cláudia Gaspar, José Tenreiro, Pedro Palazzo</i>	749
Táticas de modelación estructural con elementos tipo shells en inmuebles históricos de mampostería irregular <i>Carlos Alberto Torres, Claudia Ruiz</i>	763
Vernacular techniques and learned sources: how to connect buildings, books, and individuals in two seventeenth century manuscripts <i>Margarida Tavares da Conceição, Mafalda Batista Pacheco</i>	775
Casa de câmara e cadeia de Itanhaém <i>Regina Helena Vieira Santos</i>	787
Building better surveys: a contribution to the non-structural assessment of existing buildings <i>Catarina Mouraz, J. Mendes Silva, Tiago Miguel Ferreira</i>	799
Entre a matéria e a imagem: Contribuições para a documentação e investigação dos forros policromados da Igreja Matriz de Divina Pastora em Sergipe <i>Pedro Murilo Gonçalves de Freitas, Isadora Andrade Carvalho</i>	811
Análisis lineal y no-lineal de estructuras históricas de mampostería irregular, comparación entre elementos sólidos y shell <i>Carlos Alberto Torres</i>	825
Cidade e patrimônio: através da metodologia de sistematização de dados no universo tridimensional <i>Marlise Sanchotene de Aguiar, Teresa Cristina Menezes de Oliveira, Rafael de Souza Silva</i>	837
Taipa de pilão: As adições contemporâneas e suas implicações <i>Igor Gabriel Souza Carollo, Marcos Martinez Silvano</i>	849
Tecnologias digitais aplicadas à digitalização do património arquitetónico no Brasil: uma revisão sistemática da literatura <i>João Castro, Gisa Bassalo</i>	861
José António Caldas: o conhecimento científico e técnico da engenharia militar portuguesa aplicado na capitania do espírito santo <i>Luciene De Souza, Nelson Ribeiro</i>	873
A transmissão de conhecimentos sobre construção no ensino da engenharia e arquitetura brasileiras do início do século XX. “O acervo Alexandre Albuquerque” <i>Ricardo Rocha</i>	883
Clasificación geométrica y semântica de modelos digitales de artefactos religiosos: de morfologías a tecnologías constructivas <i>Enrique Nieto Julian, Silvana Bruno, Juan Moyano Campos</i>	893

---

Pesquisa, Desenvolvimento e Transmissão de Conhecimento Construtivo Tecnocientífico: ICB e Centros de Informação do Bouwcentrum na América Latina <i>Juliana S. Ramos</i>	907
Architectonical, morphological, and pathological characterization of Yucatan churches <i>Isis R Pérez, Graça Vasconcelos, Paulo B Lourenço</i>	927
A utilização da modelagem 3D (HBIM) na avaliação e manutenção de patrimônios arquitetônicos. Estudo de caso igreja Nossa Senhora do Rosário de Pedro Leopoldo <i>Felipe Junqueira Ferraz Backx, Ester Damiani Silva, Cynara Fiedler Bremer, Gláucia Nolasco de Almeida Mello</i>	941
<b>O estudo da história da construção</b> <b>The study of the history of construction</b>	<b>953</b>
The Sweet's catalog and its catalog network. An unknown transnational network of building materials' catalogs in the west by the mid of the 20th century. <i>Natalia Maria Gaspar, Fernando Atique</i>	955
O processo de projeto e a construção da Maternidade Dr. Alfredo da Costa (1913- 1932) <i>Carolina Brasileiro</i>	967
CRUSP e FAU: Experiências de construção na cidade universitária de São Paulo <i>Felipe Contier, Aline Regino</i>	981
Estratigrafia do instituto estadual Carlos Gomes de Belém do Pará: ações do arquiteto português David Lopes às intervenções contemporâneas <i>Felipe Azevedo, Cybelle Miranda</i>	993
The representation of the art of building through history <i>Letícia Gonçalves Souza, Antônia Fialho Conde, Ana Cardoso de Matos</i>	1005
Características do estilo art-nouveau e sua influência na cidade de Belém/PA <i>Izabelle Ribeiro, Roseane Norat</i>	1017
Janelas de guilhotina e a influência inglesa no Brasil do século XIX <i>José Pessoa</i>	1027
Tradição e inovação em Alvaro Siza. Uma perspectiva tectónica sobre a casa Beires (1973-1979) <i>Teresa Cunha Ferreira, Joaquim Teixeira, Tiago Trindade Cruz, Rui Fernandes Póvoas</i>	1035
O Colégio de S. Francisco Xavier da Horta e a adequação da Companhia de Jesus às tradições construtivas açorianas <i>Inês Gato de Pinho, João Vieira Caldas</i>	1047



O material como argumento para a história da arquitetura: breve síntese do estudo sobre o alumínio <i>Raissa de Oliveira, João Marcos Lopes</i>	1059
Construção da catedral Cristo Redentor em Boa Vista-Roraima 1967-1972: o uso do concreto armado como sistema inovador <i>Carlos Teodoro Olivares Olivares, Marcos Martinez Silvano</i>	1073
O Palácio dos Estados da exposição internacional e o concreto armado: técnica e cidade no ano do centenário <i>Niuxa Drago, Luciana Figueiredo</i>	1085
The construction of the 21st c. and the early 20th c. architecture magazines: RIC and a Construção moderna <i>Patrícia Faustino, Sofia Aleixo</i>	1097
Amanhecer e anoitecer na obra. Um retrato do quotidiano laboral na construção da Alfândega Nova do Funchal (1515) <i>João Paulo Graça Pontes</i>	1109
Arquiteturas de adobe em Portugal. História, construção e futuro <i>Maria Fernandes</i>	1125
Metodologias para avaliação estrutural de abóbadas e cúpulas em alvenaria <i>Danielli Cintra, Deane Roehl, Emil Sánchez Filho, Paulo Lourenço, Nuno Mendes</i>	1135
O contributo dos documentos antigos para a concepção de um manual de manutenção da casa burguesa do Porto. Síntese e conclusões <i>Joaquim Teixeira, Rui Fernandes Póvoas</i>	1147
O canteiro de obras e a formação do arquiteto: uma articulação possível? <i>Hugo Matos, Roberto Santos</i>	1159
Influencia de los tratados históricos de la construcción en las proporciones geométricas de los edificios históricos religiosos de México <i>Isis R Pérez, Graça Vasconcelos, Paulo B Lourenco</i>	1171
Construção e evolução arquitectónica das residências da Companhia de Jesus na província de Portugal <i>Maria João P. Coutinho</i>	1183
Aspects of the history of building theatres in Rio de Janeiro: from the opera houses to the city of the arts <i>Evelyn Furquim Werneck Lima</i>	1195
A obra inicial de Fernando Távora: para uma releitura <i>Eduardo Fernandes</i>	1207
Preservação das grades metálicas das fachadas das edificações em Belém (PA-Brasil): contribuição da produção local na remodelação arquitetônica da cidade	1219

*Suzete Fraiha, Flávia Palácios*

Ensaio de uma metodologia pluridisciplinar para o estudo dos mestres pedreiros medievais do Alto Minho. 1231

*Sofia Catalão*

Arquitetura popular da cidade de Uberlândia/MG, Brasil: um estudo da casa 1243

*Claudia dos Reis E Cunha, Denise Fernandes Geribello, Luiz Carlos de Laurentiz*

Modelagem computacional dos sobrados coloniais do Centro Histórico de Vitória – ES 1255

*Luciana Nemer, Felipe Gustavo Silva*

O debate sobre design britânico o uso do ornamento em ferro nos projetos de arquitetura e engenharia, 1850-1870 1267

*Carolina Oliveira, Margareth Pereira*

Las fuentes documentales en la metodología de intervención patrimonial. arquitectura industrial inglesa del siglo XIX en Adufe Bajo, Sevilla 1279

*Milagrosa Borrallo-Jiménez, Mercedes Ponce-Ortiz*

Aplicação de técnicas de digitalização 3D e análise espacial para caracterização da dimensão e distribuição de silhares em construções históricas 1291

*Diego Aristófanes D. Sousa, Hugo Pires, Humberto Ataíde, Clara Pimenta do Vale*

A efemeridade das construções de aeroportos no Brasil: arquitetura projetada para as transformações” 1303

*Thiago Sanjad, Tales Kamel, José Maria Bassalo, Roseane Norat*

A segundo superfície decorada dos ladrilhos hidráulicos de Florianópolis/SC: uma análise os princípios do desenho do século XIX 1315

*Renne Evangelista, Alice Viana*

The 19th and 20th century interventions on the dormitory wing of the Jerónimos monastery in Lisbon: an account with focus on the constructive aspects 1325

*Baptiste Vincens, Graça Vasconcelos, Nuno Mendes, Moriah Hughes, Constantin Gourd, Safa Joudeh and Saray Sepulveda Cruz*

Raul Lino entre serras, da Estrela à Gardunha: a casa Barata 1341

*Carla Garrido de Oliveira, Joana Rico Gonçalves*

**Ambientes em mudança 1355**

**Changing environments**

Mudanças e autenticidade: a casa de campo de Oscar Niemeyer e seus desdobramentos no campo do patrimônio moderno 1357

*Julia Cavalcante, Carlos Barroso*

The Dr Carvalho Hospital, Dili (Timor Leste): Angel or Ghost? 1369

---

*David Mason*

- As recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico (ICOMOS) e instrumentos internacionais de formação 1379  
*Paulo B. Lourenço*
- Energy and seismic retrofit of vernacular architecture in Portugal: Building predictive models in future scenario 1393  
*Stefania Stellacci, Leonor Domingos, Elisa Poletti*
- Projeto de consolidação e estabilização do cruzeiro franciscano de Itu em São Paulo – Brasil 1407  
*Rosana Muñoz, Mário Mendonça de Oliveira, Marcos Tognon, Elias José de Almeida Machado*
- Trabalhos de construção, xibalo e a empreitada do aterro da praia da Maxaquene em Lourenço Marques: uma vista sobre documentação dispersa da obra 1419  
*Lisandra Franco de Mendonça*
- Restoration, modernization and expansion of the Paulista museum: background and new challenges 1431  
*Marcus Vinicius Rosário da Silva, Sheila Walbe Ornstein*
- O risco da perda de técnicas tradicionais e mudanças no ambiente do centro histórico da cidade do Rio de Janeiro 1443  
*Claudio Antônio Lima Carlos*
- A construção de edifícios industriais em Braga e Guimarães no início do século XX 1455  
*José Pedro Reis*
- A bateria de Santo Antônio em Belém (Pará-Brasil) arquitetura militar e expansão territorial 1467  
*Roseane Norat, Giulia Motta, Marcondes Costa*
- Olivais (Norte e Sul): produto e testemunho de uma Lisboa em transformação 1479  
*Carolina Chaves, Ana Tostões*
- Reescrituras do Convento (1923) no campus PUC-SP – Monte Alegre 1493  
*Ana Claudia Mei Alves de Oliveira, Renata Adriana Fabbris*
- Edifícios comparados: as obras do teatro municipal e do MASP como documentos acerca das transformações na produção da arquitetura em São Paulo 1507  
*Raquel Schenkman Contier*
- Some notes about the building course of meseta Ibérica 1517  
*Jorge Pinto, Anabela Paiva, Sandra Pereira, Ricardo Bento*
- Casa grande e Tulha: a repercussão do restauro crítico no território Brasileiro 1529  
*Ana Paula Farah, Bia Carvalho Costa Santos*

---

The INHAVIT project: Sustainability-led approaches for the rehabilitation of the cultural built heritage of Montesinho Natural Park. Research overview and initial findings <i>Javier Ortega, Graça Vasconcelos, Tiago Miguel Ferreira, Hugo Rodrigues, Eduarda Luso, Juan Arias, Sandra Graus, Soon Khei, Dener Silva, Otavio Conde</i>	1541
A comparative analysis of sustainable management strategies for the conservation of vernacular settlements <i>Juan Arias, Javier Ortega, Graça Vasconcelos</i>	1551
Comunidades rurales propensas al despoblamiento y su influencia en el entorno construído: el caso de las aldeas en el parque natural Montesinho <i>Sandra Graus, Tiago Miguel Ferreira, Graça Vasconcelos, Javier Ortega</i>	1563
The vernacular architecture of Montesinho natural park: building typologies and passive energy strategies <i>Soon Khei, Ricardo Mateus, Javier Ortega and Raúl Briones-Llorente</i>	1575
Intervention in historic villages based on the concepts of authenticity and sustainability <i>Ana Velosa, Carlos Figueiredo, Hugo Rodrigues, Paulo Silva, Paulo Monteiro</i>	1589
Uma abordagem Digital Twin na gestão e monitorização do palácio de Monserrate <i>Rita Machete, Mariana Neves, Madalena Ponte, Ana Paula Falcão, Rita Bento</i>	1599
O presente contínuo da taipa de pilão no brasil do século XXI <i>Natan Nigro, Maria Luiza Freitas</i>	1609
Solares Ludovicenses: representação da transgressão da burguesia Luso-Brasileira? <i>Cláudia Nunes de Lima E Andrade, Leonardo Barci Castriota</i>	1621
Relevância da preservação digital para a disseminação do BIM no Brasil: estudo de caso <i>Raissa Cruz, Monica Santos Salgado</i>	1633
Forte de São Francisco Xavier da Barra: entre a preservação e o apagamento da história <i>Luciene Pessotti</i>	1645
Avaliação do Ciclo de Vida da Arquitetura com Terra: Uma revisão sistemática da literatura sobre os impactos ambientais da energia operacional <i>Beatriz Carvalho, Marcos Silvano</i>	1659
Valores patrimoniais e atualização infraestrutural – Sobre o Projeto de Reabilitação do Mercado do Bolhão <i>Juliano Ribas, Rita Machado Lima, Nuno Valentim</i>	1671
Os impactos arquitetónicos da frágil democracia Brasileira: o contexto político e histórico à respeito da descaracterização do campus Seropédica da universidade federal rural do Rio de Janeiro	1683

---

*Ana Clara Barreto Porfírio, Claudio Antônio Santos Lima Carlos*

Ecletismo como sobreposição da arquitetura vernacular Luso-Brasileira em Goiás 1695  
*Gledson Nascimento*

The Alverca palace refurbishments in the early 20th century 1707  
*Vanda Matos*

O moderno e antigo Grande Hotel de Cipó-Ba em seus últimos suspiros? 1719  
*Jamille Ponte*

Ocupação ao longo da história pós cabralina do território de Rondônia. Primórdios da construção de seu patrimônio urbano: o Real Forte Príncipe da Beira 1731  
*Cristina Lima Barreiros da Silva*

A nova estética da cidade de São Luís do Maranhão: novos materiais e técnicas construtivas no Período Pombalino 1743  
*Leticia S. Silva, Mariely C. Santana*

O início da produção brasileira de revestimentos cerâmicos para uso na construção: produtos e fábricas 1755  
*Lia Cavalcante, Thais Sanjad*

Bento Rodrigues- Mariana/MG: apagamento da história e memória 1767  
*Paula Azevedo, Luciene Pessotti*

Antiga escola de aprendizes artífices: pistas sobre uma edificação histórica em Belém do Pará (Brasil)" 1775  
*Ana Elisa Do Nascimento Ribeiro, João Victor de Alcântara Trindade, Graziela Ribeiro Baena*

A imigração de Brasileiros em Portugal e a arquitetura doméstica: relações simbólicas da colonialidade e distinção de classes 1785  
*Clara Torres Peres, Julieta Maria de Vasconcelos Leite*

Inspeção em edificações históricas: método de análise rápida e acompanhamento de risco 1797  
*Eliza Hasselmann, Roseane Norat*

Avaliação das manifestações patológicas em construções antigas – Inspeção visual “Estudo de caso Igreja Nossa Senhora do Rosário de Pedro Leopoldo” 1809  
*Ana Carolina de Oliveira Leal, Luísa Caroline Vieira Louret, Gláucia Nolasco de Almeida Mello, Cynara Fiedler Bremer*

## AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS ABOBÁDAS E MURALHAS DO REAL FORTE PRÍNCIPE DA BEIRA

Muñoz, Rosana<sup>1\*</sup>, Oliveira, Mário M. de<sup>2\*</sup>, Santos, Larissa C. A. N.<sup>3\*</sup>, Almeida Machado,  
Elias José de<sup>4\*</sup>, Teixeira, Emanuele de O.<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>munoz.rosana@ufba.br, <sup>2</sup>mmo1936@gmail.com, <sup>3</sup>larissa.santos@ufba.br,  
<sup>4</sup>eliasjamac@yahoo.com.br, <sup>5</sup>emanuele.infra@gmail.com

\* Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Núcleo de Tecnologia da  
Preservação e da Restauração - NTPR

**Palavras-chave:** Abóbada, Muralha, Verificação grafostática, Avaliação estrutural, Patrimônio

### Resumo

*O Real Forte Príncipe da Beira, fortaleza localizada no Município de Costa Marques, no estado brasileiro de Rondônia, foi construído no século XVIII, pela coroa portuguesa, para proteção e garantia da posse do seu território. Considerada como a maior edificação militar portuguesa erguida fora da Europa, com 24.553m<sup>2</sup> de área, em planta, expressa qualidade de concepção e traçado. Este sistema fortificado, erigido em alvenaria de pedras, solidarizadas com argamassa de cal, barro e areia, foi tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1950, e, atualmente, sob a responsabilidade do Exército Brasileiro, encontra-se em desuso, com edificações em processo de arruinamento. Diante do precário estado de conservação e tencionando a execução de projeto de intervenção, foi assinado, em 2019, um convênio entre o IPHAN e a equipe do Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (NTPR), da Universidade Federal da Bahia, Brasil, para elaboração de documentação técnica, visando a conservação e a manutenção do forte. No presente trabalho, objetivava-se expor as avaliações estruturais para verificação da estabilidade de abóbadas e muralhas da fortaleza, que apresentam vários danos e sinais claros de instabilidade, utilizando o método da grafostática. Para isto, inicialmente, foi feito levantamento histórico; seguido de visitas ao local para realização de cadastro e ensaios in situ; além de testes laboratoriais, para caracterização de materiais e seu comportamento mecânico; prospecções e avaliações das estruturas. Como resultado, neste estudo de caráter exploratório, são apresentadas, além das verificações estruturais, as possíveis soluções para o projeto de intervenção.*





seus comportamentos mecânicos; prospecções e avaliações das estruturas. Como resultado, neste estudo de caráter exploratório, são apresentadas, além das verificações estruturais, as possíveis soluções para o projeto de intervenção, dada a observação de subdimensionamento de arcos, abóbadas e arrimos, bem como da colocação posterior de reforços (contrafortes) para sua estabilização.

Este trabalho, fundamental para subsidiar a restauração futura do monumento, torna-se importante para a preservação do patrimônio nacional edificado e para o desenvolvimento da Ciência da Conservação e do Restauro.

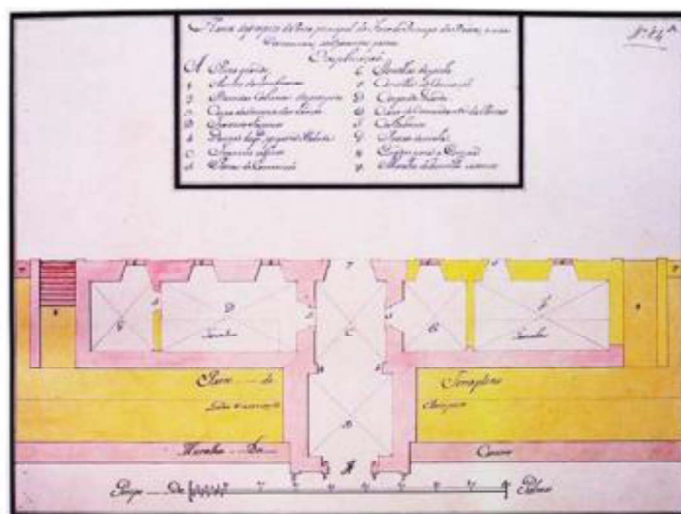
## 2 MATERIAIS, TÉCNICAS CONSTRUTIVAS E DIAGNÓSTICO

Nesta seção, são descritos os materiais e as técnicas construtivas utilizadas na execução das abóbadas e muralhas, objetos deste estudo, além do seu estado de conservação, premissas fundamentais para a compreensão da avaliação estrutural.

### 2.1 Abóbadas do Real Forte Príncipe da Beira

O acesso ao interior do Real Forte Príncipe da Beira pode ser realizado de duas formas: pelo trânsito/casa da guarda, acesso principal, e pela poterna, entrada alternativa, localizados respectivamente nas fachadas noroeste e sudoeste do forte.

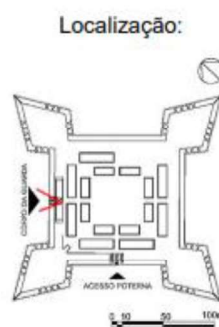
O Trânsito (Figura 3) é constituído por dois espaços distintos, separados por um arco, identificados como Trânsito Superior (Figura 4) e Trânsito Inferior (Figura 5). Do Trânsito Inferior, podem ser acessados o Corpo da Guarda, a Casa do Comandante “das Portas” e, ainda, a Praça de Armas.



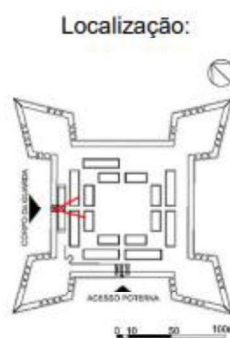
A. Porta grande; 1. Assento das hombreiras; 2. Bazea das colunas do prospeto; 3. Caixa dos descanso das lanças; B. Tranzito Superior; b. Devizão da gr.<sup>de</sup>, e pequena Abobedas; C. Tranzito inferior; 5. Portas de Comonição [sic]; 6. Janellas de peito; 7. Cancellia de Comicação [sic]; D. Casa da guarda; E. Caza do Comandante das Portas; F. Calhabouço [sic.]; G. Prizão destinta; 8. Escada para a Cortina; Muralha do revestim.<sup>to</sup> interior [grafia original].

**Figura 3:** Planta do Trânsito, segundo iconografia antiga (s/d)

Fonte: Acervo dos autores, a partir do Arquivo da Casa da Ínsua (Portugal), 2020



**Figura 4:** Trânsito Superior, com a vista da porta de entrada  
Fonte: Acervo dos autores, 2020

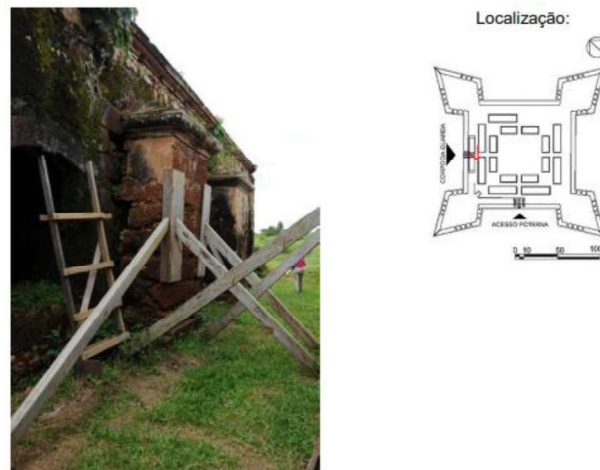


**Figura 5:** Trânsito Inferior, com a vista do acesso à Praça de Armas  
Fonte: Acervo dos autores, 2020

As paredes do trânsito e dos cômodos laterais foram executadas em alvenaria de pedras, até a altura da linha das impostas, seguidas de arquivoltas de tijolos cerâmicos, assentadas com argamassa de cal, areia e solo (abóbadas de berço). Essas paredes, com exceção da fachadeira, receberam como camadas de revestimento reboco e emboço, também em argamassa de cal, e pintura.

O volume que compõe o Trânsito, além da Casa do Comandante, do Corpo da Guarda e da Prisão Distinta, denomina-se Calabouço, espaço que só pode ser acessado a partir da Praça de Armas. As alvenarias de todos esses ambientes têm as mesmas características das demais paredes rebocadas da entrada principal, diferindo apenas pela pintura. As coberturas também são em abóbada de berço.

As paredes do Corpo da Guarda, que são voltadas para a Praça de Armas, possuem quatro contrafortes externos, em formato de paralelepípedos, inexistentes no projeto original, construídos, possivelmente, para conter o empuxo das abóbadas das coberturas. Esses elementos foram executados em alvenaria de pedras, receberam os mesmos revestimentos da Casa da Guarda, e são encimados por coruchéus curvos, que, por sua vez, contam com globos de arremate em suas cumeadas (Figura 6).



**Figura 6:** Contraforte das fachadas dos ambientes Corpo da Guarda e Prisão Distinta  
Fonte: Acervo dos autores, 2020

Os contrafortes encontram-se desligados da parede que reforçam e escorados, o que indica que houve movimentação, provocada pelo empuxo das abóbadas na direção do Pátio de Armas (na direção oposta, parece não haver problemas porque o empuxo está contraventado pelo terraplino frontal). Isto, somado ao estado de degradação em que se encontram as abóbadas, como, por exemplo, com pontos de infiltração de água de chuva, presença de água nos materiais, lacunas e desprendimento de revestimento, biofilme e trinca transversal (Figura 7), levou a equipe do NTPR à realização de avaliação da estabilidade estrutural das abóbadas.



**Figura 7:** Trinca transversal na abóboda do Trânsito Superior  
Fonte: Acervo dos autores, 2020

## 2.2 Muralhas do Real Forte Príncipe da Beira

Os componentes do sistema de muralhas do Forte Príncipe da Beira são identificados como muralha perimetral (externa) e muralha de contenção (interna). As muralhas foram executadas em alvenaria de pedras lavradas (cantaria), solidarizadas com argamassa de cal, barro e areia. Esta argamassa é um dos elos fracos da cadeia da construção, pois a dificuldade de obtenção da cal fez o seu uso reduzido, com conseqüente facilidade de lixiviação e esmagamento. Para combater esta deficiência, além dos componentes líticos, as muralhas contam com acréscimos pontuais de elementos cerâmicos, como tijolos inteiros e partes deles, e juntas com embrechamento, maioritariamente composto por fragmentos cerâmicos. Nos muros de pedra irregular, os pedaços são rochosos, de mesma natureza das pedras empregadas na alvenaria.



A técnica utilizada para a elevação da alvenaria das muralhas exhibe as seguintes singularidades: o dimensionamento das juntas argamassadas e das peças líticas não mostram regularidade; a disposição dos componentes líticos e a orientação das juntas, da mesma maneira, são irregulares. Há, ainda, prumadas que apresentam juntas coincidentes ou “casadas” (expressão usual). Este particular construtivo tem trazido algumas sequelas na estabilidade dos muros, que se encontram pressionados por terraplenos. As juntas argamassadas, por sua vez, exibem larguras que variam de 0,5 a 4,0cm e, em alguns casos, sofreram estreitamento por perda de argamassa, por via do intemperismo ou pela ação de morcegos na escavação dos seus abrigos, um dos grandes males no processo da conservação dos muros. Levando-se em conta a precaríssima qualidade do material lítico, que, em muitos casos, tem menor resistência do que um tijolo, situação verificada por meio de ensaios laboratoriais realizados no NTPR, como, também, a má qualidade da argamassa, que facilita a lixiviação das juntas e seu eventual esmagamento, além de algumas lesões (Figura 8), foi proposta a avaliação estrutural das muralhas.



**Figura 8:** Prospecção, com endoscópio, em lacunas da muralha  
Fonte: Acervo dos autores, 2020

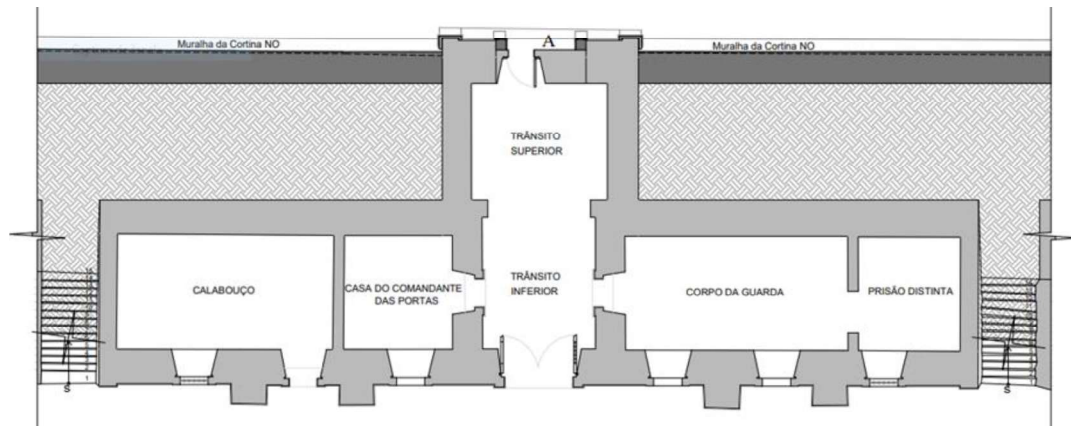
### 3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS ABÓBADAS E MURALHAS

Diante do contexto apresentado na seção anterior do presente trabalho, tornou-se necessária a verificação da estabilidade estrutural de abóbadas e muralhas do Forte Príncipe da Beira. Esta avaliação foi realizada utilizando o método da grafostática, para cálculo de empuxos [1, 2], uma vez que, em função dos materiais constituintes dos elementos, os comportamentos mecânicos não são elásticos. Utilizou-se, como ferramenta de desenho, o *software* AutoCAD 2020.

#### 3.1 Estabilidade das abóbadas

Foram desenvolvidas as avaliações da estabilidade das abóbadas de berço do Trânsito Superior, Trânsito Inferior, Corpo da Guarda e Prisão Distinta, Casa do Comandante das Portas e Calabouço (Figura 9).

Neste trabalho, apresentam-se os cálculos para verificação da estabilidade da abóboda de berço [3] do Corpo da Guarda (Figura 10), que tem largura semelhante às da Prisão Distinta, Casa do Comandante das Portas e Calabouço, 4,40m, representando a situação mais desfavorável desses ambientes, em relação à contenção lateral, quando comparada às dos trânsitos, pois estas últimas possuem maciço de terra e travamentos. A referida abóboda é acometida dos seguintes danos: manchas de água pluvial, desprendimento e perda de revestimento, presença de biofilme e ninhos de térmitas/insetos, além de lixiviação (Figura 11).



**Figura 9:** Identificação dos ambientes onde foram realizadas verificações de estabilidade das abóbadas  
Fonte: Elaborada pela equipe do NTPR, 2020



**Figura 10:** Vista interna da abóbada do Corpo da Guarda  
Fonte: Acervo dos autores, 2020



**Figura 11:** Danos nas proximidades da linha de imposta da abóbada do Corpo da Guarda  
Fonte: Acervo dos autores, 2020

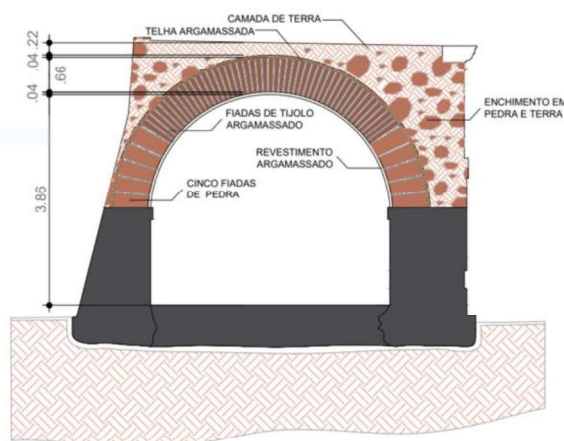
A cobertura desse ambiente é constituída por cinco fiadas de pedra aparelhada na parte mais próxima à imposta, seguidas por tijolos argamassados, com revestimento em argamassa e pintura. Esta abóbada, de 66 centímetros de espessura (três palmos), possui, acima do extradorso do arco, camada com fragmentos de telha argamassados (4cm), conformando encascamento, e, na parte mais alta, 22 cm (um palmo) de terra em estado saturado. Na lateral, possui enchimento em pedra irregular e argamassa; e, no dorso inferior, quatro centímetros de revestimento argamassado (Figura 12). Como considerações de cálculo, adotou-se comprimento da abóbada de um metro e sobrecarga de 200 kgf/m<sup>2</sup>. Outros parâmetros de cálculo estão dispostos na Tabela 1. Os pesos específicos dos materiais de construção, assim como os valores de absorção de água de telhas, tijolos e argamassas foram determinados no NTPR, com base em seus procedimentos usuais [4-6]. O estudo do solo foi realizado pelo Laboratório de Geotecnia, também da Universidade Federal da Bahia.

Para efeito de simplificação de cálculo, considerou-se a sobrecarga mencionada, como enchimento de 7,14 centímetros de terra saturada sobre a abóbada (29,14cm no total, considerando 22cm de terra existente). A camada de telha de 4cm foi transformada em espessura de arco, por meio das massas unitárias, perfazendo 3,84cm. O revestimento de 4cm foi, também, considerado como espessura de arco. Assim, tem-se, portanto, como espessura total do arco 73,84cm, aproximadamente 74cm, composto de tijolo no estado saturado (Figura 13). Adicionalmente, estabeleceu-se o enchimento lateral em terra saturada, por ter maior peso específico, estando a favor da segurança.



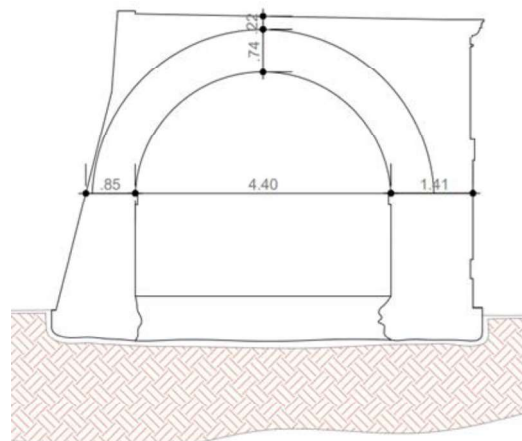
Tabela 1: Parâmetros de cálculo

Parâmetro	Valor [g/cm <sup>3</sup> ]
Peso específico da telha	1,80
Peso específico da telha saturada (absorção de água 17,29%)	2,11
Peso específico da pedra	2,27
Peso específico da pedra saturada (absorção de água 12,83%)	2,56
Peso específico do tijolo	1,89
Peso específico do tijolo saturado (absorção de água 16,52%)	2,20
Peso específico da argamassa de assentamento	1,78
Peso específico da argamassa saturada (absorção de água 16,09%)	2,07
Peso específico da terra saturada	2,80



**Figura 12:** Esquema da abóbada do Corpo da Guarda

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020



**Figura 13:** Seção transversal de cálculo

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

Para a realização do cálculo, inicialmente, foi considerada a metade do arco [2]. O segmento de arco verificado foi o da direita, uma vez que se apresenta como a situação mais desfavorável em termos de carregamento. Em seguida, marcou-se a zona do rim do arco, 30°, que foi desprezada [2] e dividiu-se o restante em quatro partes (Figura 14). Logo após a realização desses procedimentos, foram calculadas as áreas dos setores de coroa e dos paralelogramos formados.

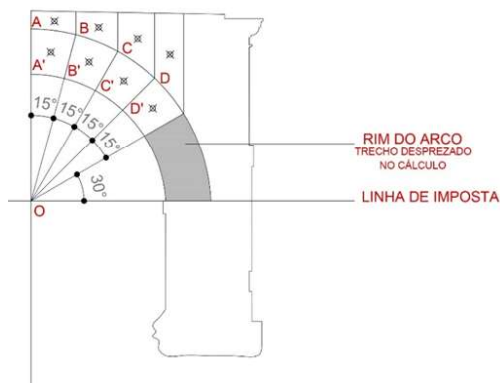
Foram identificados os centros de gravidade das figuras e determinadas as massas, utilizando os respectivos pesos específicos (dispostos na Tabela 1). A representação das massas foi realizada em escala. Em seguida, foram determinados os pontos de aplicação das resultantes (Figura 15) e os respectivos valores.

A partir do centro O, foram marcados, na vertical, no trecho abaixo da linha de impostas, os valores dessas resultantes, em escala. Em seguida, estabeleceu-se o ponto H' e foram traçados prolongamentos e paralelas, de forma a se obter o ponto de aplicação da resultante total  $RT = 9.140,90 \text{ kgf}$  e o empuxo  $3.612,10 \text{ kgf}$  (Figura 16).

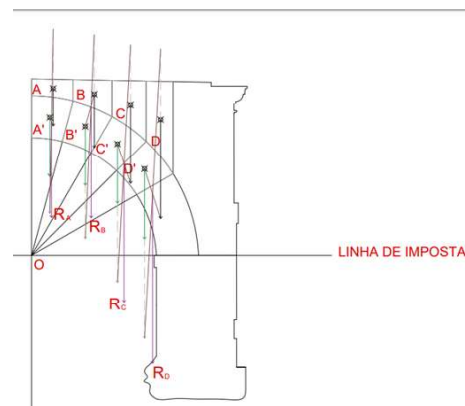
Para verificar a ação do empuxo sobre as paredes de apoio e a condição de estabilidade do sistema estrutural, foram colocados o respectivo peso e o empuxo no baricentro da parede de apoio, utilizando a mesma escala. Para o cálculo do peso, multiplicou-se o volume da parede pelo peso específico da alvenaria argamassada,  $2,17 \text{ g/cm}^3$  (calculado pela composição de 80% de pedra e 20% de argamassa). Em relação ao apoio da esquerda, o peso totalizou  $6.379,80 \text{ kgf}$  e o valor da resultante  $7.331,38 \text{ kgf}$ , ficando fora do terço

médio, como mostra a Figura 17. No que tange à alvenaria da direita, o peso foi 8.163,32 kgf e a resultante 8.926,76 kgf, caindo também fora do terço médio (Figura 18). De acordo com essas figuras, as resultantes ficaram fora do terço médio, configurando instabilidade do sistema estrutural.

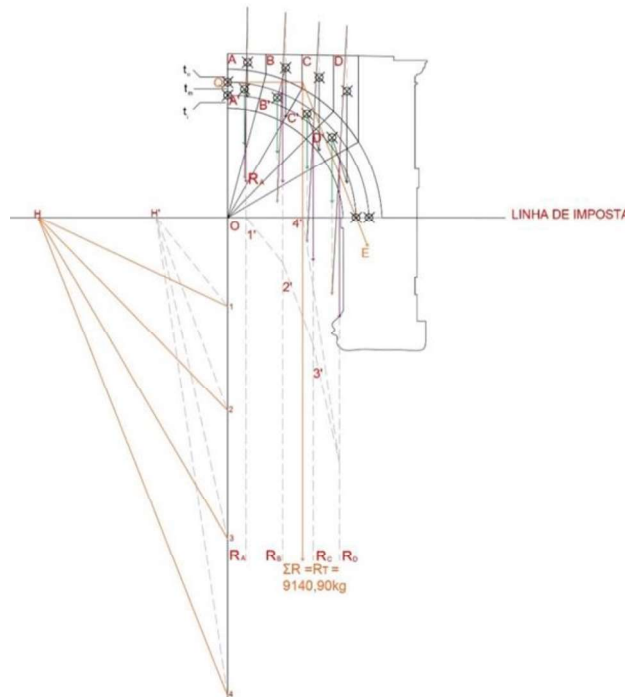
Fazendo-se uma avaliação geral sobre as condições de estabilidade estrutural das abóbadas dos ambientes da entrada do forte, observa-se que todas elas apresentam instabilidade. Porém, no caso das abóbadas do Corpo da Guarda e Prisão Distinta, assim como da Casa do Comandante das Portas e do Calabouço, a instabilidade requer ações mais efetivas, pois, enquanto que nos ambientes do trânsito há solo na lateral para conter o empuxo, e não somente a alvenaria, nas outras estão os contrafortes adicionados que se apresentam completamente degradados, sem exercer sua função de contenção lateral. A solução para tal instabilidade pode estar no uso de tirantes metálicos e esbarros.



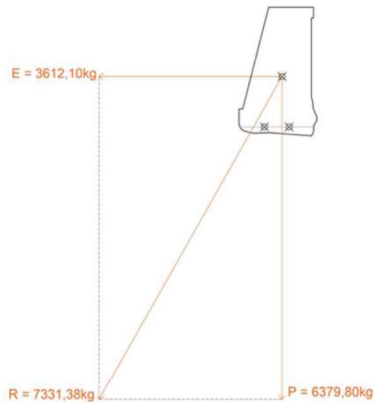
**Figura 14:** Marcação das zonas de cálculo  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020



**Figura 15:** Representação das resultantes das figuras geométricas  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

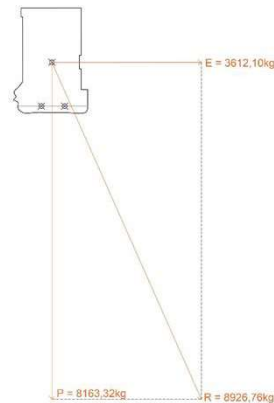


**Figura 16:** Determinação do empuxo  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020



**Figura 17:** Instabilidade do sistema estrutural da esquerda

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020



**Figura 18:** Instabilidade do sistema estrutural da direita

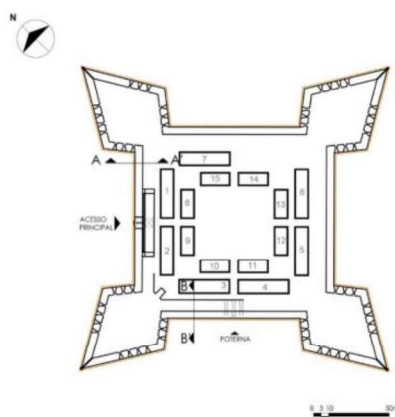
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

### 3.2 Estabilidade das muralhas

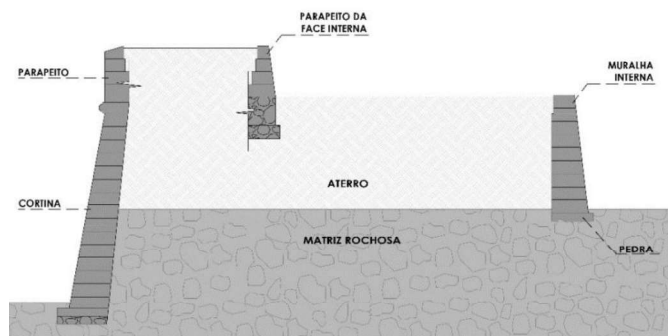
A avaliação da estabilidade dos muros do Real Forte Príncipe da Beira foi realizada por método gráfico [2], com o auxílio do *software* AutoCAD 2020. Para o cálculo do empuxo e sua direção, foi utilizado o Método de Poncelet [7], e para a verificação da estabilidade, o método da resultante e sua relação com o terço médio da base [2].

Foram avaliados os muros do parapeito, cortina, parapeito da face interna e muralha interna, conforme Figuras 19 e 20. Neste trabalho, são apresentados os cálculos da muralha interna de contenção, cujo limite interior foi verificado no local.

Os dados gerais utilizados para cálculo do empuxo e sua direção são: altura do muro = 3,37m;  $\omega$  (ângulo de talude natural) =  $25^\circ$ , considerando o tipo de solo como barro e argila [7]; paramento rugoso, logo  $\omega = \omega_1$  ( $\omega_1$  é a direção do empuxo com a horizontal e corresponde ao ângulo de rugosidade da parede). Assim,  $\omega = \omega_1 = 25^\circ$ ;  $\alpha$  inclinação natural do solo =  $5^\circ$ ;  $\varphi$  ângulo que a direção do empuxo faz com a vertical, como o muro é reto,  $\varphi = 90 - 25 = 65^\circ$ ; massa específica do solo =  $1,41 \text{ t/m}^3$  (resultado de ensaios realizados com o solo); sobrecarga =  $0,2 \text{ tf/m}^2$ .

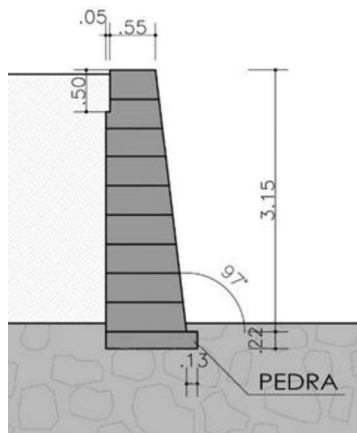


**Figura 19:** Planta dos muros  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

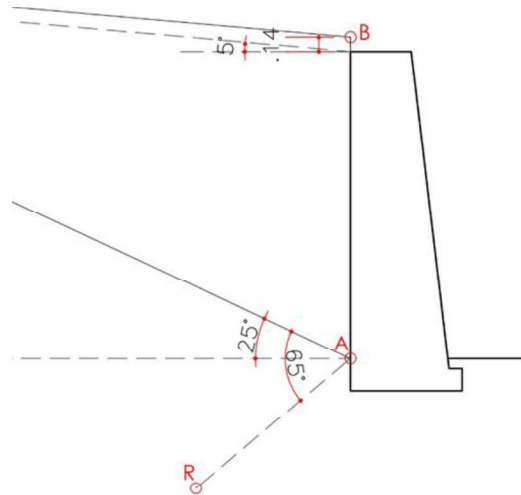


**Figura 20:** Corte B-B', mostrando os muros verificados  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

A sobrecarga foi transformada em altura de terra equivalente, para ser levado em conta o acréscimo do empuxo no muro, perfazendo 14cm (Figuras 21 e 22).

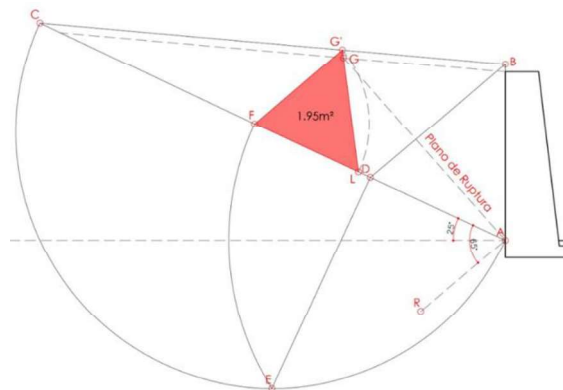


**Figura 21:** Geometria da muralha interna de contenção  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

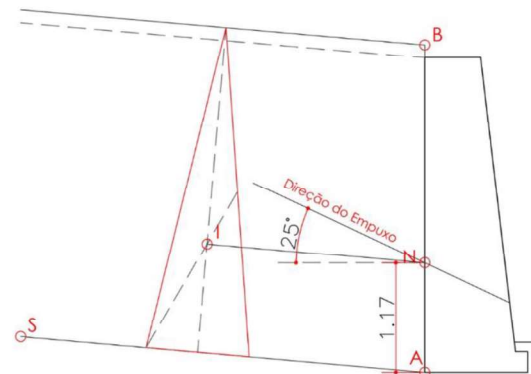


**Figura 22:** Parâmetros da muralha interna  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

De acordo com a metodologia proposta, o empuxo é calculado multiplicando-se a área do triângulo  $FG'L$  pela massa específica do solo. Tem-se, como empuxo, 2,75 t/m (Figura 23). Para determinar o ponto de aplicação do empuxo, basta construir um triângulo de área equivalente ao triângulo  $FG'L$ , como mostrado na Figura 24.



**Figura 23:** Método gráfico para cálculo do empuxo  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020



**Figura 24:** Construção de triângulo de área equivalente e direção do empuxo  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

Para a verificação da estabilidade, colocou-se, em escala, o empuxo (E) e o peso do muro (P) no baricentro da seção transversal. A determinação do peso foi realizada pelo seguinte cálculo: área da seção transversal x 1m x peso específico da muralha (pedra). A resultante do empuxo e do peso próprio, identificada por R (Figura 25), foi de 7,77t e saiu do terço médio. Logo, esta muralha apresenta-se instável.

Tendo em vista que dados de sondagem indicaram que o terreno se mostra bem compacto, fez-se nova verificação, utilizando a mesma metodologia, considerando o solo como cascalho e pedra britada [7]. Nessa situação, o prolongamento da resultante também saiu do terço médio da base, mas ficou mais próximo do que na situação anterior. A muralha, portanto, neste caso, também, apresenta-se instável, devendo ser restrito o acesso de pessoas para diminuição da sobrecarga.



**Figura 25:** Resultante e indicação de instabilidade  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2020

#### 4 CONCLUSÕES

O presente artigo abordou a verificação estrutural de abóbada e muro de arrimo que apresentavam sinais de degradação, por meio da grafostática, método que apresenta bons resultados para o cálculo de empuxos [8].

A abóbada apresentou instabilidade, observada a partir da posição da resultante em relação ao terço médio da base. Esse desequilíbrio já havia sido observado, uma vez que os contrafortes colocados posteriormente à construção, e que, hoje, se apresentam escorados, não realizam sua função, pois estão destacados da alvenaria. Propõe-se, neste caso, o uso de tirantes metálicos para contraventar a seção transversal. No que tange ao muro, observou-se, também, instabilidade, uma vez que a resultante do empuxo e do peso caiu fora do terço médio, devendo ser restrito o uso da área para diminuição da sobrecarga.

Pretende-se que este trabalho possa embasar o projeto de restauro do Forte Príncipe da Beira e que contribua para a preservação do patrimônio edificado, para ampliação de conhecimentos na área de salvaguarda patrimonial e para o desenvolvimento da Ciência da Conservação e do Restauro.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Henkel, O. 1931. *Estática Gráfica*. Trad. Gay, J.; Fizia, K. Manuales Técnicos Labor. 2ª ed. Madrid, Barcelona, Buenos Aires: Editorial Labor S. A.
- [2] Oliveira, M. M. de. 2022. *Tecnologia da conservação e da restauração – materiais e estruturas: um roteiro de estudos*. 4ª ed. Salvador: EDUFBA.
- [3] Becchi, A.; Foce, F. 2002. *Degli archi e dele volte*. Venezia: Marsilio.
- [4] Teutonico, J. M. 1988. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Rome: ICCROM.
- [5] NORMAL 4/80. 1980. *Distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diámetro*. Raccomandazioni NORMAL. Rome: Centro Stampa ICR.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015. *NBR 15845-2 Rochas para revestimento. Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- [7] Moliterno, A. 1987. *Cadernos de muros de arrimo*. São Paulo: Edgard Blücher.
- [8] Muñoz, R.; Salaberry, P. I. 2010. Análise de esforços na Igreja de Santa Teresa em Salvador. In: *Fórum Patrimônio – Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*. v. 1, n. 1. Disponível: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/forumpatrimo/article/view/33876>.