

“UrDiSynth42” e a tecelagem *figital*

Nelson Francisco Ribeiro Caldeira

Centro de Investigação em Artes e Comunicação, Doutorando em Média-arte digital, Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Universidade do Algarve/Departamento de Ciências e Tecnologia da Universidade Aberta, caldeira.nelson@gmail.com

Pedro Jorge Agostinho Alves da Veiga

Centro de Investigação em Artes e Comunicação, Universidade Aberta, pedro.veiga@uab.pt

João Miguel Magalhães Marcelino Fernandes Cordeiro

Universidade de Évora, Escola de Artes, CHAIA - Centro de História de Arte e Investigação Artística/Departamento de Artes Visuais e Multimédia, joao.cordeiro@uevora.pt

Resumo

O presente estudo aborda o desafio contemporâneo da arte digital na preservação da autenticidade cultural, procurando conciliar a inovação tecnológica com a continuidade histórica. Defende-se que a virtualização, compreendida como um deslocamento identitário para potenciais expressivos, constitui um fenómeno cultural contínuo, presente muito antes da era digital. Utilizando as Tapeçarias de Portalegre como caso paradigmático, este trabalho identifica cinco dimensões históricas de transcodificação; dimensional, material, técnica, temporal e interpretativa, que antecipam métodos da arte digital contemporânea.

Apresenta-se o conceito de arte *figital*, que estabelece uma gramática híbrida temporal, combinando os ritmos dos ambientes online e offline. Neste contexto, o *framework* “UrDiSynth42” propõe uma arquitetura hierárquica de quatro camadas, Percepção, Cognição, Expressão e Coordenação; que operacionaliza a virtualização histórica através de visão por computador, *machine learning* e síntese generativa. A utilização estratégica de tecnologias como Docker assegura a preservação digital e cultural.

O estudo confirma que a virtualização histórica não representa uma rutura tecnológica, mas sim uma evolução, oferecendo uma base robusta para futuras práticas artísticas que visem respeitar as tradições culturais, ao mesmo tempo que exploram novas possibilidades tecnológicas.

Abstract

This study examines the contemporary challenge of digital art in preserving cultural authenticity while balancing technological innovation with historical continuity. It posits that virtualization, understood as shifts in identity towards expressive potentials, is a longstanding cultural phenomenon that predates the digital era. By employing the Portalegre Tapestries as a paradigmatic case, this research identifies five historical dimensions of transcoding, dimensional, material, technical, temporal, and interpretative; that foreshadow methodologies in contemporary digital art.

The concept of *phygital* art is introduced, establishing a hybrid temporal grammar that merges the rhythms of online and offline environments. Within this framework, the “UrDiSynth42” model proposes a hierarchical four-layer architecture (Perception, Cognition, Expression, Coordination), which operationalizes historical virtualization through computer vision, machine learning, and generative synthesis. The strategic application of technologies such as Docker ensures both digital and cultural preservation.

This study concludes that historical virtualization does not signify a technological rupture but rather a natural evolution, offering a robust foundation for future artistic practices that honor cultural traditions while exploring new technological possibilities.

CCS CONCEPTS • Computing methodologies → Computer vision • Applied computing → Media arts • Computing methodologies → Generative and developmental approaches

Additional Keywords and Phrases: generative art; digital tapestry; Portalegre tapestry; computer vision.

1 INTRODUÇÃO: A ARTE *FIGITAL* CONTEMPORÂNEA E A PRESERVAÇÃO DA AUTENTICIDADE CULTURAL

A arte digital contemporânea enfrenta um desafio crucial: conciliar a inovação tecnológica com a autenticidade cultural, evitando que a rápida obsolescência dos dispositivos seja confundida com uma rutura civilizacional. Como observa Manovich [15], existe um risco constante de que as artes digitais sejam vistas como uma descontinuidade histórica, relegando as práticas artesanais a um estatuto meramente folclórico. Em vez disso, este estudo argumenta que os processos de virtualização, entendidos, segundo Lévy [13], como deslocamentos identitários para campos de potencialidade, permeiam a história da arte muito antes do advento da tecnologia digital. A virtualização, portanto, revela-se uma modalidade cultural contínua que permite unir tradição e experimentação, preservando a coerência ontológica das obras enquanto expande seu horizonte expressivo.

As Tapeçarias de Portalegre, estabelecidas em 1946, oferecem um exemplo paradigmático desta virtualização histórica, evidenciando cinco dimensões de transcodificação: (I) dimensional, convertendo esboços bidimensionais em tecelagens tridimensionais; (II) material, substituindo pigmentos por fios; (III) técnica, transitando da pintura para a

tecelagem; (IV) temporal, transformando atos espontâneos em gestos meditativos; e (V) interpretativa, migrando de uma autoria individual para um processo colaborativo. Estas operações antecipam metodologias centrais da arte digital, desde a modelação 3D até a lógica de rendering distribuído, e demonstram que a continuidade cultural é compatível com a inovação formal.

A arte *figital* constitui-se como uma gramática temporal híbrida que funde ritmos online e offline, instaurando um *metabolismo computacional*, um conceito que descreve a alternância cíclica entre criação e retroação em ciclos síncronos e assíncronos. Este termo, inspirado na biologia, refere-se à forma como os sistemas artísticos híbridos processam e transformam informação, mantendo um equilíbrio dinâmico entre o ambiente digital e o físico. Gao [10] demonstra que a ubiquidade das tecnologias digitais permite habitar múltiplas temporalidades em ambientes generativos e imersivos, articulando-se em práticas de media digital e performance duracional onde diferentes percepções de tempo coexistem. Carvalhais [5] reforça esta visão ao sublinhar que, na arte generativa, a obra emerge de um fluxo contínuo de eventos, um sistema auto poético que negocia constantemente as condições da sua própria produção.

Neste contexto, a arte *figital* expande a experiência temporal ao criar ecossistemas em que o humano e a máquina renegociam continuamente o ritmo e a duração do gesto criativo. É precisamente sobre esta convergência que se ergue o *framework* "UrđiSynth42": uma arquitetura hierárquica de quatro camadas que operacionaliza princípios de virtualização histórica através de visão por computador, *machine learning* e síntese generativa, encapsulando tanto dependências técnicas como saberes tácitos em contentores imersivos.

Os protótipos funcionais desenvolvidos demonstram ser possível conceber experiências *figitais* simultaneamente robustas, culturalmente autênticas e historicamente informadas. Ao fazê-lo, o "UrđiSynth42" ultrapassa a aparente dicotomia entre *novo* e *tradicional*, abrindo caminho a práticas artísticas capazes de honrar o passado enquanto projetam futuros expressivos.

2 ARTE FIGITAL E VIRTUALIZAÇÃO HISTÓRICA: UMA NOVA GRAMÁTICA TEMPORAL

O conceito de arte *figital* supera a simples combinação de elementos físicos e digitais, estabelecendo uma gramática temporal que integra paralelismos entre os domínios online e offline. A produção artística digital contemporânea é caracterizada pelo surgimento de obras híbridas que coexistem em múltiplos domínios, criando uma *ritmicidade sistémica* na qual as dimensões física e digital se articulam de forma coreografada [11]. Esta hibridização manifesta-se através de transições dinâmicas entre estados de interatividade síncrona, típicos das experiências online em tempo real, e momentos de reflexão assíncrona, característicos do ambiente offline, estabelecendo um "metabolismo computacional" que facilita acoplamentos entre ação e retroação [4].

A par disso, a convergência das esferas artísticas na era digital promove a dissolução das fronteiras entre o real e o virtual, desafiando os conceitos tradicionais de espaço, tempo e materialidade, e permitindo a criação de experiências artísticas dinâmicas e participativas. Estas dinâmicas são potencializadas pelo uso de tecnologias digitais que facilitam estruturas narrativas complexas, não-lineares e interativas, promovendo uma participação ativa do público e uma contínua renegociação da experiência temporal e espacial [4].

No contexto das Tapeçarias de Portalegre, esta ritmicidade é evidente na alternância entre a interpretação criativa ativa e a execução mecânica repetitiva. Enquanto o artista se dedica à criação do cartão, interpretando criativamente o design, a execução mecânica repetitiva pode ser equiparada a algoritmos digitais que reproduzem padrões de forma consistente.

A virtualização histórica, conforme estabelecida por Pierre Lévy [13], não constitui desmaterialização, mas sim uma transformação da identidade através da descoberta de novas questões. O virtual opõe-se ao atual, não ao real, constituindo uma modalidade do ser que transcende limitações espaciais e temporais convencionais. As cinco dimensões de transcodificação identificadas nas Tapeçarias de Portalegre demonstram como processos de virtualização operam em contextos pré-digitais. Por exemplo, a transcodificação dimensional, que envolve a conversão de representações bidimensionais em formas tridimensionais, pode ser comparada à modelação digital onde imagens bidimensionais são transformadas em modelos 3D. Similarmente, a transcodificação material, que envolve a substituição de pigmentos por fios, reflete a reformatação digital onde materiais tradicionais são substituídos por pixels e vetores.

O *framework* delineado a partir destes conceitos assenta em três princípios ecossistémicos derivados da análise das tapeçarias de Portalegre:

1. **Diversidade sistêmica:** Este princípio consiste na integração de múltiplas modalidades de processamento, representação e interação, valorizando simultaneamente a herança artística e as potencialidades tecnológicas. Ao conjugar técnicas tradicionais de tecelagem com ferramentas digitais de criação, os artistas podem respeitar a tradição e, ao mesmo tempo, explorar novas possibilidades expressivas. Por exemplo, ao utilizar software de design para criar padrões complexos e depois aplicar essas criações em teares manuais, os artistas podem combinar a precisão digital com a riqueza tátil dos materiais tradicionais [4].
2. **Interdependência adaptativa:** Este princípio designa as relações dinâmicas entre os componentes do sistema, fomentando uma adaptação mútua por meio de transições contínuas entre os domínios online e offline. Estes ritmos conciliam a imediatividade do digital com a reflexão contemplativa do fazer manual. Um exemplo claro disso é quando um artista alterna entre esboços digitais e a execução têxtil. Durante o processo criativo, o artista pode usar ferramentas digitais para experimentar rapidamente diferentes *designs*, antes de selecionar e implementar as melhores ideias através de técnicas manuais de tecelagem. Esta alternância permite uma reflexão mais profunda sobre as escolhas de design enquanto se mantém a eficiência e a flexibilidade proporcionadas pela tecnologia digital. Conforme Duester [8], a incorporação de software digital e inteligência artificial nas práticas artísticas contemporâneas tem fomentado novas formas de eficiência, criatividade e adaptação, permitindo que os artistas explorem rapidamente diferentes soluções visuais e ajustem os seus processos criativos em tempo real.
3. **Emergência controlada:** O princípio em questão aborda a gênese de modalidades expressivas inovadoras, mantendo uma consonância com valores culturais pré-estabelecidos. A experimentação é fomentada, mas circunscrita a parâmetros delineados pela tradição e pelo contexto cultural. Por exemplo, a evolução de técnicas de tecelagem pode culminar em obras originais que salvaguardam a identidade cultural, quer através da integração de motivos tradicionais em desenhos inovadores, quer mediante a utilização de materiais contemporâneos que remetem para a estética dos materiais ancestrais.

Deste modo, a experimentação controlada possibilita aos artistas inovar sem desvincular-se do contexto cultural e histórico das suas criações, garantindo a perpetuação e autenticidade das tradições culturais. Este equilíbrio entre inovação e tradição é essencial nos processos de inovação cultural, os quais dependem de condições sistêmicas e da circulação de saberes no seio das comunidades, incentivando a cocriação sem rutura com o legado cultural existente [8].

Estes princípios juntos proporcionam uma estrutura robusta que permite aos artistas explorar novas fronteiras na arte *figital* enquanto mantêm uma forte ligação com as tradições culturais. Ao integrar tecnologia e tradição de uma forma equilibrada e respeitosa, o *framework* apoia a criação de obras que são ao mesmo tempo inovadoras e culturalmente ricas.

3 ARQUITETURA DO *FRAMWORK* "URDISYNTH42"

O "UrDiSynth42" adota uma arquitetura hierárquica de quatro camadas, baseada nos princípios de virtualização histórica e na integração de operações paralelas em ambientes online e offline. Esta configuração visa facilitar transições dinâmicas entre diversos estados sistêmicos, fomentando um ecossistema híbrido que salvaguarda a autenticidade cultural, ao mesmo tempo que estimula novas formas de expressão.

Lupo [14] sublinha que a convergência entre os domínios físico e digital, denominada *figital*, cria espaços dinâmicos onde os elementos tangíveis e intangíveis do património cultural se interligam, possibilitando experiências criativas sem comprometer a integridade cultural. Esta abordagem híbrida é considerada essencial para a inovação no design e na experiência do património cultural, incentivando a cocriação, a adaptação e a expansão das práticas culturais tradicionais através das tecnologias digitais.

3.1 Camada de percepção

A camada de percepção constitui a interface sensorial primária entre o sistema e o ambiente físico-digital. Recorrendo a visão por computador, captura gestos, posturas e movimentos corporais que alimentam as etapas da cognição e expressão.

Componentes técnicos:

- Algoritmos de estimativa de pose corporal: Utilização de ferramentas como *MediaPipe* e *OpenPose* para uma detecção precisa da pose corporal a partir de imagens de câmaras.
- Sistemas de tracking gestual: Tecnologias que permitem o seguimento de gestos com precisão, garantindo fidelidade na captação de movimentos visuais.
- Módulos de calibração automática: Sistemas que se adaptam automaticamente a diferentes condições de iluminação e ambientes, assegurando uma performance consistente das câmaras.
- Interfaces de captação visual: Integração de câmaras de vídeo para uma percepção abrangente do ambiente visual.

Funcionalidades:

- Detecção e seguimento de gestos: Capacidade de detetar e seguir gestos, permitindo uma interação em tempo real baseada em dados visuais.
- Classificação de intenções gestuais: Interpretação em tempo real das intenções por trás dos gestos captados pelas câmaras, facilitando uma resposta adequada do sistema.
- Adaptação automática: Ajuste automático a diferentes utilizadores e contextos visuais, garantindo uma experiência personalizada baseada em entradas visuais.
- Filtragem de ruído visual: Eliminação de movimentos não intencionais e ruídos visuais, melhorando a precisão da interação baseada em câmaras.

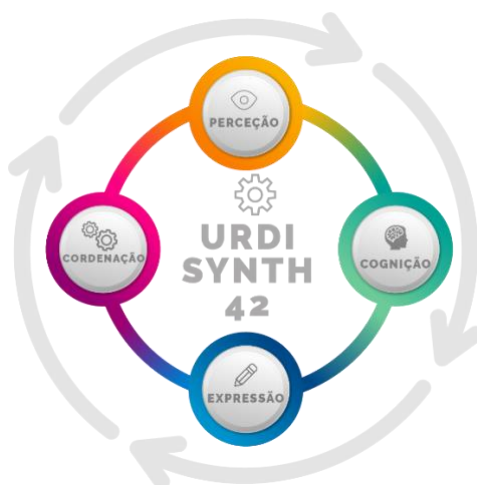


Figura 1- Diagrama de arquitetura hierárquica de quatro camadas. Este diagrama ilustra a interação entre as quatro camadas do framework "UrDiSynth42": Percepção (captura de dados do ambiente físico-digital), Cognição (interpretação semântica e cultural), Expressão (criação de respostas multimodais) e Coordenação (gestão do sistema). A estrutura circular sugere um fluxo contínuo e interdependente, refletindo o "metabolismo computacional" do sistema. fonte: autor

3.2 Camada de percepção

A camada cognitiva é encarregue da interpretação semântica dos dados recolhidos pela camada percetiva. Esta camada recorre a algoritmos de *machine learning*, implementados em *TensorFlow*, para categorizar gestos com base em padrões culturais e adaptativos, possibilitando uma compreensão mais rigorosa das interações humanas. A utilização de redes neurais recorrentes (LSTM/GRU), em conjunto com *TensorFlow*, tem demonstrado uma eficácia significativa no reconhecimento e classificação de gestos, facilitando a extração automática de características pertinentes e a adaptação a diversos contextos culturais. Misal [16] destaca a relevância destas abordagens para o desenvolvimento de sistemas robustos de reconhecimento de gestos, capazes de suportar aplicações avançadas em interação humano-computador.

Arquitetura de aprendizagem:

- Redes Neurais recorrentes (LSTM/GRU): Modelação temporal de sequências de gestos, permitindo a compreensão de padrões ao longo do tempo. Estas redes são implementadas utilizando *TensorFlow*, que oferece um suporte robusto para a criação e treino de modelos complexos de *machine learning*.

- *Transformers*: Captura de dependências de longo alcance entre gestos, facilitando a interpretação de sequências complexas. A utilização de *TensorFlow* permite a implementação eficiente de *transformers*, melhorando a capacidade do sistema de compreender contextos complexos.
- Mecanismos de atenção: Foco em aspectos relevantes dos dados, melhorando a precisão da classificação. O *TensorFlow* fornece ferramentas para a implementação de mecanismos de atenção, permitindo uma análise mais detalhada e precisa dos dados.
- Sistemas de memória episódica: Preservação do contexto das interações, permitindo uma adaptação contínua e contextualizada. Com *TensorFlow*, é possível criar sistemas de memória episódica que mantêm e utilizam informações contextuais para melhorar a interpretação dos gestos.

Processamento semântico:

- Classificação de gestos: Classificação de gestos segundo uma taxonomia cultural específica, garantindo uma interpretação culturalmente sensível. O *TensorFlow* facilita a criação de modelos de classificação que podem ser treinados com dados culturais específicos, melhorando a precisão e a sensibilidade cultural do sistema.
- Interpretação contextual: Interpretação baseada no histórico de interações, permitindo uma resposta adaptada ao contexto. A utilização de *TensorFlow* permite a integração de informações contextuais históricas, enriquecendo a interpretação dos gestos atuais.
- Adaptação gradual: Ajuste gradual a padrões individuais de utilizadores, melhorando a experiência ao longo do tempo. O *TensorFlow* suporta a implementação de algoritmos de aprendizagem contínua, permitindo que o sistema se adapte e melhore com o uso.
- Integração de conhecimento cultural: Incorporação de conhecimento cultural sobre as Tapeçarias de Portalegre, enriquecendo a interpretação dos gestos. Com *TensorFlow*, é possível integrar bases de dados culturais específicas, melhorando a capacidade do sistema de interpretar gestos dentro de um contexto cultural rico e diversificado.

3.3 Camada de expressão

A camada de expressão tem a função de traduzir os resultados da análise cognitiva em manifestações visuais e sonoras. Para isso, utiliza motores de síntese que combinam aleatoriedade algorítmica com regras composicionais inspiradas nas Tapeçarias de Portalegre. Esta metodologia possibilita a criação de respostas estéticas que são sensíveis tanto ao gesto do utilizador quanto ao contexto cultural em que estão inseridas. De acordo com Manovich [12], a integração de técnicas de síntese algorítmica com elementos culturais específicos é uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de experiências multimodais interativas. Tal abordagem promove a personalização e a relevância cultural das respostas criadas pelo sistema.

Motores de Síntese:

- Redes adversárias generativas (GANs): Treinadas com um *dataset* de tapeçarias, permitindo a criação de texturas e padrões autênticos.
- Modelos de difusão: Criação de texturas e padrões que evocam a materialidade das tapeçarias.
- Algoritmos de síntese procedimental: Utilização de funções de ruído e autômatos celulares para a criação de padrões complexos.
- Sistemas de composição musical: Criação de composições musicais baseadas em estruturas têxteis, enriquecendo a experiência multissensorial.

Criação de conteúdo:

- Síntese de texturas: Criação de texturas que evocam a materialidade das tapeçarias, garantindo uma experiência visual autêntica.
- Criação de padrões geométricos: Inspiração em Manuel Cargaleiro para a criação de padrões geométricos complexos.
- Criação de paletas cromáticas: Utilização das 7.000 tonalidades disponíveis nas tapeçarias para a criação de paletas cromáticas ricas e variadas.
- Composição de movimentos fluidos: Criação de movimentos que evocam o processo de tecelagem, enriquecendo a experiência visual e sonora.

3.4 Camada de Coordenação

A camada de coordenação é responsável pela gestão das interações entre todas as camadas do sistema, utilizando lógica distribuída e processamento assíncrono. Esta metodologia é crucial para assegurar a resiliência e a sincronização

do estado do sistema, permitindo que este responda de forma adaptativa a flutuações interativas e técnicas. Sadnan [16] demonstra que arquiteturas de coordenação em camadas, baseadas em algoritmos distribuídos, são eficazes na gestão de sistemas complexos. Estas arquiteturas promovem autonomia, robustez face a falhas e reduzem a complexidade computacional centralizada.

Infraestrutura distribuída:

- Arquitetura de micros serviços: Design que permite escalabilidade horizontal, facilitando a adaptação a diferentes cargas de trabalho.
- Sistemas de balanceamento de carga dinâmico: Distribuição eficiente de recursos, garantindo uma performance consistente.
- Protocolos de recuperação e tolerância a falhas: Mecanismos que asseguram a continuidade do serviço mesmo em caso de falhas.
- Monitorização em tempo real: Monitorização contínua da performance sistémica, permitindo uma resposta rápida a problemas.

Gestão de estado:

- Sincronização de estado: Manutenção de um estado sincronizado entre múltiplos componentes, garantindo uma operação coerente.
- Versionamento de modelos de *machine learning*: Gestão de diferentes versões de modelos, facilitando a atualização e a recuperação.
- Backup distribuído e recuperação de dados: Mecanismos que asseguram a integridade e a disponibilidade dos dados.
- Gestão de sessões de utilizador e preferências: Personalização da experiência do utilizador, garantindo uma interação adaptada às suas preferências.

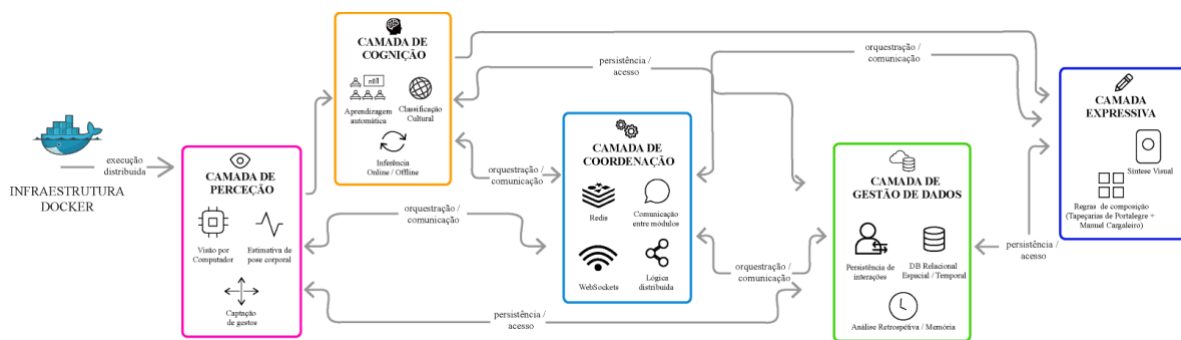


Figura 2 - Arquitetura da framework "UrdiSynth42". Este diagrama detalha a implementação técnica da arquitetura de quatro camadas. A Camada de Perceção utiliza câmaras e sensores para capturar dados. A Camada de Cognição processa esses dados através de modelos de machine learning (Análise de Comportamento). A Camada de Expressão gera conteúdo visual e sonoro (Síntese de Imagem e Som). A Camada de Coordenação gere o estado, os dados e a infraestrutura (Gestão de Estado, Camada de Gestão de Dados, Infraestrutura Distribuída). A interligação entre as camadas demonstra um sistema integrado para a criação de experiências *figitais*, fonte: autor

4 CONTENTORIZAÇÃO E PRESERVAÇÃO DIGITAL/FIGITAL

O sistema em análise utiliza uma estratégia de contentorização* em *Docker*, reconhecida na literatura académica recente como uma solução robusta para desafios de portabilidade, escalabilidade e preservação digital em ambientes de desenvolvimento e produção [17]. Cada componente do sistema é encapsulado num contentor autónomo, incluindo todas as dependências e configurações necessárias, garantindo assim a replicação fiel do ambiente original, independentemente da infraestrutura subjacente. Esta abordagem é crucial para assegurar a integridade, funcionalidade e longevidade dos sistemas, especialmente em contextos de preservação digital e cultural [9].

A arquitetura modular do sistema inclui vários contentores especializados, cada um com uma função específica. O contentor de perceção incorpora ferramentas e bibliotecas essenciais para a aquisição e processamento de dados visuais, como o *OpenCV*, utilizado em aplicações de visão por computador em tempo real devido à sua eficiência e suporte multiplataforma [18]. Além disso, o *MediaPipe* tem demonstrado alta precisão na captura e análise de

* Este termo refere-se ao processo de "empacotar" software em contentores, que são unidades padronizadas de software que incluem código e todas as suas dependências, permitindo que as aplicações sejam executadas de forma rápida e confiável em diferentes ambientes de computação.

movimentos, sendo validado em estudos recentes como uma solução robusta para tarefas de processamento visual [25].

O contendor de cognição é dedicado à *machine learning* e à interpretação semântica, utilizando *frameworks* como *TensorFlow* e *PyTorch*. O *TensorFlow* é reconhecido pela sua capacidade de operar em larga escala e em ambientes heterogêneos, sendo adotado em investigação e produção para aplicações de *deep learning* [2]. O *PyTorch*, por outro lado, é valorizado pela sua abordagem imperativa, flexibilidade e desempenho, facilitando o desenvolvimento e a experimentação em projetos de *deep learning* [19].

O contendor de expressão é responsável pela criação de conteúdos visuais e sonoros, utilizando motores de síntese e bibliotecas gráficas para criar respostas estéticas baseadas nas interpretações cognitivas. Esta abordagem modular permite a integração eficiente de componentes especializados para a produção de respostas multimodais.

Por fim, o contendor de coordenação gere a comunicação e a sincronização entre os diferentes componentes do sistema, utilizando tecnologias como *Node.js*, conhecida pela sua arquitetura orientada a eventos e elevada escalabilidade em aplicações distribuídas [1], e *Flask*, que oferece flexibilidade e suporte a aplicações distribuídas e persistentes [3].

A utilização de tecnologias de contendorização tem vindo a assumir um papel central na gestão eficiente de sistemas complexos. Esta abordagem não só simplifica a administração técnica, como também facilita a preservação do conhecimento tácito inerente ao funcionamento dos sistemas. Ao encapsular configurações específicas, parâmetros críticos e dependências essenciais de cada componente, a contendorização promove a reprodutibilidade e a robustez operacional [22]. Além disso, a integração de métricas de desempenho e padrões de interação diretamente nos contentores possibilita uma monitorização contínua, bem como a implementação de processos de otimização progressiva, alinhando-se com as melhores práticas de *DevOps* e computação em nuvem [17].

À medida que o sistema evolui com a sua utilização, as melhorias incrementais e adaptações contextuais são registadas e preservadas nos próprios contentores. Isso permite a construção de uma "memória cultural" digital que reflete não apenas as dinâmicas históricas do sistema, mas também as especificidades das interações dos utilizadores, assegurando a continuidade do conhecimento institucional e operacional.

A literatura recente evidencia que a adoção de contentores Docker consolidou-se como uma prática dominante em ambientes de produção, especialmente em sistemas que requerem elevados níveis de flexibilidade, isolamento e facilidade de manutenção [7]. A modularidade e portabilidade inerentes ao Docker facilitam a replicação, distribuição e manutenção de sistemas complexos, incluindo aqueles dedicados à preservação digital e cultural, mesmo face a mudanças tecnológicas significativas [17].

Em síntese, a estratégia de contendorização não só contribui para a preservação técnica dos sistemas, como também garante a manutenção e transmissão do conhecimento cultural e tácito acumulado ao longo do tempo. Esta abordagem assegura a sustentabilidade e relevância contínua dos *frameworks* tecnológicos, em consonância com as recomendações mais recentes da investigação académica sobre computação em nuvem, *DevOps* e preservação digital [7].

5 IMPLEMENTAÇÃO TÉCNICA

O sistema em questão utiliza uma arquitetura híbrida e modular, meticulosamente projetada para combinar requisitos rigorosos de processamento em tempo real com a preservação da autenticidade cultural das Tapeçarias de Portalegre. Esta abordagem estrutural integra uma plataforma baseada em inteligência artificial, desenvolvida em *Python* para processamento de dados e *machine learning*, com um ambiente de execução assíncrono em *Node.js*, responsável pela orquestração de serviços distribuídos e comunicação eficiente entre componentes. A recente capacidade nativa do *Node.js 22.x* para aceleração GPU através de CUDA demonstrou uma redução significativa nas latências associadas à inferência de modelos de inteligência artificial [24]. Práticas recomendadas no ajuste de micro serviços, como *pooling* eficiente de conexões e mecanismos de gestão assíncrona de erros, garantem uma escalabilidade robusta sem comprometer o desempenho global.

Este termo refere-se ao processo de *empacotar* software em contentores, que são unidades padronizadas de software que incluem código e todas as suas dependências, permitindo que as aplicações sejam executadas de forma rápida e fiável em diferentes ambientes de computação.

O ciclo operacional deste sistema começa com a aquisição contínua de imagens, seguido por etapas rigorosas de pré-processamento destinadas à filtragem de ruído e à extração dos movimentos gestuais dos utilizadores. Estes gestos são analisados e classificados num contexto cultural específico, utilizando modelos treinados para reconhecimento de interações naturais, semelhantes às aplicadas em museus virtuais [20]. A partir desta interpretação, ocorre a criação dinâmica de texturas visuais e composições sonoras inspiradas nas técnicas tradicionais das Tapeçarias de Portalegre. Para manter níveis mínimos de latência, o pipeline de síntese visual utiliza técnicas de renderização aceleradas por GPU, semelhantes às usadas na digitalização volumétrica avançada de património cultural tridimensional [6].

O sistema dispõe de regras estruturadas, armazenadas em arquivos JSON validados por esquemas formais, permitindo uma atualização fácil e controlada das paletas cromáticas, gestos reconhecidos e padrões visuais disponíveis. Esta gestão eficaz responde diretamente às recomendações de rigor e integridade semântica exigidas em projetos de salvaguarda digital do património cultural [26].

Por fim, o desempenho e a eficácia do sistema são continuamente avaliados por meio de indicadores-chave; a rapidez da interação é medida por métricas precisas de latência; a diversidade criativa é quantificada através de medidas de entropia visual e sonora entre diferentes sessões de interação; e o envolvimento dos utilizadores é monitorizado pela duração das sessões e pela satisfação reportada através de questionários periódicos. Estes dados são integrados num processo iterativo de melhoria contínua, garantindo uma evolução equilibrada entre inovação tecnológica e respeito pela herança cultural que fundamenta todo o projeto.

5.1 Validação Empírica e Metodologia de Investigação

Este estudo posiciona-se como um ensaio teórico-conceptual, alicerçado numa investigação prática. A metodologia de investigação-ação foi central para o desenvolvimento e validação do framework “UrDiSynth42”. As obras *figitais* criadas, como “ChromaFlow”, não foram apenas objetos de estudo, mas também instrumentos de investigação que permitiram testar e refinar a arquitetura proposta em ciclos iterativos.

A validação empírica do framework “UrDiSynth42” foi realizada através da criação de quatro obras *figitais* específicas, demonstrando de forma tangível as capacidades operacionais do sistema. Este ecossistema criativo foi desenvolvido, iterando na obra de Manuel Cargaleiro. As obras incluem “ChromaFlow”, uma instalação interativa que explora fluxos cromáticos dinâmicos através do reconhecimento de gestos e algoritmos generativos; “TexturaMesh”, que recria digitalmente a densidade e a trama das tapeçarias utilizando simulações físicas; “GeometricSonata”, que interpreta a gramática modular de Cargaleiro através de malhas visuais generativas; e “TemporalWeft”, que investiga as dimensões temporais da tecelagem por meio de redes neurais recorrentes. Cada obra foi concebida como um estudo de caso específico, explorando uma dimensão estética fundamental (cor, textura, forma e tempo). Estas operam num sistema de intercâmbio dinâmico que assegura uma interdependência adaptativa entre todas as componentes. Os resultados obtidos através desta experimentação prática evidenciam que o framework consegue preservar a autenticidade cultural das Tapeçarias de Portalegre, ao mesmo tempo que introduz novas possibilidades expressivas, confirmando a viabilidade da abordagem *figital* proposta para a preservação dinâmica do património cultural.

6 DISCUSSÃO E CONTRIBUIÇÕES

Este estudo demonstrou a capacidade da arte *figital* em criar diálogos entre tradição e tecnologia, superando a visão simplista que posiciona estes elementos como antagonistas. Através da implementação do *framework* “UrDiSynth42”, foi demonstrado que processos históricos de virtualização são perfeitamente compatíveis com abordagens tecnológicas, especialmente em contextos culturais complexos como o das Tapeçarias de Portalegre. A fundamentação teórica deste argumento baseia-se em Lévy [13], que define a virtualização como deslocamentos identitários para campos de potencialidade.

A investigação confirmou a hipótese inicial de que a virtualização não é um fenómeno restrito à era digital, mas sim um processo histórico-cultural contínuo, identificado nas cinco dimensões de transcodificação das Tapeçarias de Portalegre (dimensional, material, técnica, temporal e interpretativa). Estes paralelismos com processos digitais contemporâneos validam a integração sistémica proposta por Lévy [13], reforçando o entendimento da virtualização como deslocamento identitário em potenciais expressivos novos, sem perda da autenticidade cultural.

Os princípios propostos – diversidade sistémica, interdependência adaptativa e emergência controlada, revelaram-se particularmente eficazes na criação de um ecossistema *figital* coerente. O princípio da diversidade sistémica, que conjuga técnicas tradicionais com ferramentas digitais [4], permitiu a coexistência harmoniosa de múltiplas modalidades expressivas e técnicas. A interdependência adaptativa promoveu uma dinâmica fluida entre interações síncronas e reflexões assíncronas, enriquecendo significativamente a profundidade criativa das práticas artísticas, conforme destacado por Duester [8], que sublinha a relevância das tecnologias digitais na adaptação contínua dos processos criativos. Finalmente, o princípio da emergência controlada assegura uma inovação culturalmente informada, protegendo as tradições históricas contra uma eventual descaracterização causada pela experimentação tecnológica desenfreada [21].

A arquitetura técnica proposta, estruturada em quatro camadas (**percepção, cognição, expressão e coordenação**), demonstrou robustez e escalabilidade na prática. As camadas operaram com fluidez e eficiência graças à utilização de tecnologias como visão por computador, *machine learning* e síntese generativa, além da gestão eficaz proporcionada pela camada de coordenação, alinhando-se com as propostas de Sadnan [23] sobre sistemas distribuídos.

Além disso, o uso estratégico de tecnologias de contentorização em Docker garantiu a preservação da integridade funcional e cultural das experiências desenvolvidas. Esta abordagem modular facilita não só a gestão técnica, mas

também promove uma memória cultural digital contínua, essencial para a preservação e continuidade do conhecimento artístico e técnico, em concordância com Muzumdar [17].

6.1 Desafios Éticos e Contextuais

A implementação de *frameworks* como o "UrDiSynth42" levanta importantes desafios éticos e contextuais que merecem uma reflexão profunda. A questão da acessibilidade tecnológica é central; a dependência de hardware e software especializados pode criar barreiras significativas, limitando a participação de artistas e comunidades com menos recursos. É imperativo, portanto, explorar soluções que utilizem tecnologias de baixo custo e código aberto para democratizar o acesso a estas ferramentas criativas.

Outro desafio crucial é o da apropriação cultural. Ao trabalhar com património cultural, como as Tapeçarias de Portalegre, é fundamental garantir que a tecnologia não se torna um vetor de descaracterização ou apropriação indevida. A colaboração estreita com as comunidades detentoras do saber tradicional, a atribuição de crédito e a partilha de benefícios são práticas essenciais para assegurar que a inovação tecnológica serve a preservação e não a exploração cultural. O *framework* "UrDiSynth42" procura mitigar este risco através da integração de conhecimento cultural específico nos seus modelos, mas a vigilância ética e o diálogo contínuo permanecem indispensáveis.

O presente projeto oferece contribuições relevantes em múltiplos níveis, teórico, prático e metodológico:

Teórica: Reafirma e expande o entendimento da virtualização como um fenómeno histórico contínuo, aprofundando a teoria de Pierre Lévy [13] ao aplicá-la a contextos artísticos específicos como as Tapeçarias de Portalegre. Além disso, introduz o conceito de "metabolismo computacional" como um modelo explicativo útil para compreender as interações híbridas no campo da arte *figital* contemporâneo [4].

Prática: Apresenta o *framework* "UrDiSynth42", que serve como referência técnica e conceptual para artistas e investigadores que desejem explorar práticas *figitais* informadas cultural e historicamente. Este *framework* fornece uma base robusta para a criação de obras que equilibram inovação e tradição, permitindo aplicações diretas em museus, galerias e outros contextos culturais, fundamentado nas práticas híbridas descritas por Lupo [14].

Metodológica: Propõe uma abordagem estruturada e replicável que pode ser adotada por futuras investigações em áreas semelhantes. A combinação de metodologias técnicas, como a integração de visão por computador [16], *machine learning* [2], síntese generativa [12] e contentorização [22], oferece um modelo claro para futuros desenvolvimentos na intersecção entre arte digital e património cultural.

Em resumo, o presente estudo avança significativamente na compreensão e aplicação prática da arte *figital*, oferecendo uma base sólida para futuras investigações e práticas artísticas que desejem manter viva a tradição cultural enquanto exploram possibilidades tecnológicas.

7 CONCLUSÃO

A investigação realizada demonstrou que a arte *figital* não representa uma rutura histórica ou tecnológica, mas sim uma evolução natural e coerente de processos culturais já estabelecidos, encontrando nas Tapeçarias de Portalegre uma expressão paradigmática. Através de uma análise minuciosa, verificou-se que a virtualização histórica está profundamente enraizada nas práticas artísticas, sendo uma constante transcultural que precede a era digital.

A virtualização, longe de implicar uma desmaterialização do património cultural, possibilita uma expansão ontológica e expressiva, permitindo novas formas de interação e percepção cultural sem comprometer a autenticidade. O *framework* "UrDiSynth42" exemplifica esta potencialidade, oferecendo uma estrutura técnica e conceptual robusta que preserva o valor cultural histórico, enquanto promove abordagens sustentadas tecnologicamente.

A arquitetura em camadas, que combina estratégias de visão por computador, inteligência artificial, síntese generativa e contentorização, provou ser robusta e eficaz, confirmando a hipótese inicial de uma integração equilibrada entre tradição e inovação tecnológica. Este equilíbrio é particularmente relevante no contexto das Tapeçarias de Portalegre, onde o diálogo entre o artesanal e o digital preserva e revitaliza continuamente o património cultural.

Finalmente, salienta-se a relevância da abordagem metodológica proposta, que pode servir como modelo replicável para investigações e práticas artísticas futuras. Ao incorporar princípios como **diversidade sistémica, interdependência adaptativa e emergência controlada**, o estudo contribui significativamente para a sustentabilidade das artes *figitais*, garantindo a continuidade e a relevância do legado cultural face a um panorama tecnológico em constante evolução.

AGRADECIMENTOS

This work was financed by Portuguese national funds through FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., in the framework of project UID/04019/2025

REFERÊNCIAS

- [1] NodeSource. 2025. How node.js works: A comprehensive guide in 2025. The NodeSource Blog - Node.js Tutorials, Guides, and Updates. Retrieved from <https://nodesource.com/blog/how-nodejs-works>
- [2] Martín Abadi, Paul Barham, Jianmin Chen, Zhifeng Chen, Andy Davis, Jeffrey Dean, Matthieu Devin, Sanjay Ghemawat, Geoffrey Irving, Michael Isard, Manjunath Kudlur, Josh Levenberg, Rajat Monga, Sherry Moore, Derek G. Murray, Benoit Steiner, Paul Tucker, Vijay Vasudevan, Pete Warden, and Martin Wicke. 2016. TensorFlow: A system for large-scale machine learning. arXiv:1605.08695 [cs] (May 2016). Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1605.08695>
- [3] Matthew S. Bonney, Marco de Angelis, Mattia Dal Borgo, Luis Andrade, Sandor Beregi, Nidhal Jamia, and David J. Wagg. 2022. Development of a digital twin operational platform using Python Flask. *Data-Centric Engineering* 3, (2022). DOI:<https://doi.org/10.1017/dce.2022.1>
- [4] Daniel Brandão, João Martinho Moura, and Christa Sommerer. 2024. Media arts: Convergência de esferas artísticas na era do digital. *Vista* 14 (December 2024), e024018–e024018. DOI:<https://doi.org/10.21814/vista.6105>
- [5] Miguel Carvalhais. 2016. Artificial aesthetics : Creative practices in computational art and design. U. Porto Edições, June, Porto.
- [6] Mahtab Dahaghin, Myrna Castillo, Kourosh Riahidehkordi, Matteo Toso, and Del Bue. 2024. Gaussian Heritage: 3D Digitization of Cultural Heritage with Integrated Object Segmentation. arXiv (Cornell University) (September 2024). DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2409.19039>
- [7] Docker Inc. 2024. Docker launches 2024 state of application development report | docker. Docker. Retrieved from <https://www.docker.com/blog/docker-2024-state-of-application-development-report/>
- [8] Emma Duester. 2024. Digital art work and AI: A new paradigm for work in the contemporary art sector in china. *European Journal of Cultural Management and Policy* 14, (February 2024). DOI:<https://doi.org/10.3389/ejcmp.2024.12470>
- [9] Iain Emsley and David De Roure. 2018. A framework for the preservation of a docker container. *International Journal of Digital Curation* 12, 2 (April 2018), 125–135. DOI:<https://doi.org/10.2218/ijdc.v12i2.509>
- [10] Yujie Gao. 2023. Flowing to unsettle : A multimedia exploration of inhabiting time in computational performative art. University of British Columbia. DOI:<https://doi.org/10.14288/1.0435774>
- [11] Sarah Lee. 2025. Unlocking dynamics in digital arts. Numberanalytics.com. Retrieved June 20, 2025 from <https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-dynamics-digital-arts>
- [12] Lev Manovich. 2020. Cultural analytics. The Mit Press, Cambridge, Massachusetts.
- [13] LévyPierre. 2003. O que é o virtual? São Paulo Ed. 34.
- [14] Eleonora Lupo. 2021. Design and innovation for the cultural heritage. phygital connections for a heritage of proximity. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals) 10, (December 2021). DOI:<https://doi.org/10.19229/2464-9309/10172021>
- [15] Lev Manovich. 2001. The language of new media. Mit Press, Cambridge.
- [16] Sahilee Misal. 2024. Hand gesture recognition using deep learning| international journal of innovative science and research technology. *International Journal of Innovative Science and Research Technology* 9, 8 (August 2024). Retrieved June 21, 2025 from <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IISRT24AUG154>
- [17] Prathamesh Muzumdar, Amol Bhosale, Ganga Prasad Basyal, and George Kurian. 2024. Navigating the Docker Ecosystem: A Comprehensive Taxonomy and Survey. *Social Science Research Network*. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4682785
- [18] OpenCV. 2023. From Healthcare to Automotive: Exploring OpenCV Applications in 2023. OpenCV. Retrieved from <https://opencv.org/blog/opencv-applications-in-2023/>
- [19] Adam Paszke, Sam Gross, Francisco Massa, Adam Lerer, James Bradbury, Gregory Chanan, Trevor Killeen, Zeming Lin, Natalia Gimelshein, Luca Antiga, Alban Desmaison, Andreas Köpf, Edward Yang, Zach DeVito, Martin Raison, Alykhan Tejani, Sasank Chilamkurthy, Benoit Steiner, Lu Fang, and Junjie Bai. 2019. PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library. arXiv.org (2019). Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1912.01703>
- [20] Dorin-Mircea Popovici, Dorin Iordache, Radu Comes, Călin Gheorghe Dan Neamțu, and Elena Băutu. 2022. Interactive Exploration of Virtual Heritage by Means of Natural Gestures. *Applied Sciences* 12, 9 (April 2022), 4452. DOI:<https://doi.org/10.3390/app12094452>
- [21] Riccardo Pozzo, Andrea Filippetti, Mario Paolucci, and Vania Virgili. 2020. Whatdoescultural innovation stand for? Dimensions, processes, outcomes of a new innovation category. *Science and Public Policy* 47, 3 (2020). DOI:<https://doi.org/10.1093/scipol/scaa023>
- [22] Reza Rabiayan, Ramin Yahyapour, and Patrick Jahnke. 2024. Optimization of containerized application deployment in virtualized environments: A novel mathematical framework for resource-efficient and energy-aware server infrastructure. *The Journal of Supercomputing* 80, 15 (June 2024), 22598–22630. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11227-024-06304-5>
- [23] Rabayet Sadnan, Shiva Poudel, Anamika Dubey, and Kevin P. Schneider. 2023. Layered Coordination Architecture for Resilient Restoration of Power Distribution Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 19, 4 (April 2023), 6069–6080. DOI:<https://doi.org/10.1109/tii.2022.3177464>
- [24] Markaicode Team. 2025. Node.js 22.x GPU acceleration guide: Unleashing CUDA power for ML inference. Markaicode - Programming Tutorials & Coding Guides. Retrieved June 22, 2025 from <https://markaicode.com/nodejs-22-gpu-cuda-ml-inference>
- [25] Vaidehi Wagh, Matthew W Scott, and Sarah N Kraeutner. 2024. Quantifying similarities between mediapipe and a known standard to address issues in tracking 2D upper limb trajectories: Proof of concept study. *JMIR Formative Research* 8, (December 2024), e56682–e56682. DOI:<https://doi.org/10.2196/56682>
- [26] Anne Wagner and Marie-Sophie de Clippele. 2023. Safeguarding cultural heritage in the digital era – A critical challenge. *International Journal for the Semiotics of Law - Revue internationale de Sémiotique juridique* 36, 5 (August 2023), 1915–1923. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11196-023-10040-z>