

PROJETO ARCA

Assinatura Epigenética Autoral

A Marca do Epigenicista nas Sementes que Construiu

Protocolo de Autoria Molecular, Rastreabilidade Civilizacional e Soberania Epigenética

PERGUNTA FUNDADORA DESTE DOCUMENTO:

'A melhoria epigenética feita de forma intencional pode virar uma assinatura do epigenicista que fez as alterações – para que as pessoas no futuro saibam quem gravou e construiu resiliência nessas sementes?'

RESPOSTA: Sim. E o ARCA pode ser o primeiro projeto no mundo a implementar isso – criando um novo paradigma de autoria sobre a vida.

Welson Perli Pereira

Projeto ARCA | Bahia, Brasil | Junho de 2026

1. FUNDAMENTOS — O QUE É UMA ASSINATURA EPIGENÉTICA AUTORAL

1.1 A Analogia com Outras Formas de Autoria Humana

Ao longo da história, a humanidade desenvolveu formas de marcar sua presença intelectual e criativa nas obras que produziu. A assinatura epigenética autoral é a extensão natural desse impulso para o domínio molecular da vida:

Domínio	Como a Autoria é Marcada	Durabilidade	Assinatura Epigenética Equivalente
Arte	Assinatura do artista na tela ou escultura	Séculos	Padrão de DMRs específico do protocolo do epigenicista
Arquitetura	Estilo reconhecível na estrutura e proporções	Séculos a milênios	Sequência de estresses que produz ordem de metilação única
Literatura	Estilo narrativo, vocabulário, estrutura	Séculos	Combinação de genes ativados/silenciados como 'voz' molecular
Música	Harmonia, ritmo e progressão de acordes únicos	Séculos	Sequência temporal de marcas epigenéticas ao longo do genoma
Código de software	Hash criptográfico e comentários autorais	Décadas a séculos	Código binário 0/1 gravado em posições intergênicas específicas
Sementes crioulas (atual)	Nenhuma — autoria invisível e não atribuída	Gerações — mas sem nome	A assinatura ARCA resolve exatamente este vazio histórico

1.2 O Vazio Histórico que a Assinatura ARCA Preenche

Existe uma injustiça epistêmica profunda na história da agricultura: os agricultores guardiões que ao longo de milênios selecionaram, aprimoraram e preservaram as variedades crioulas nunca tiveram seus nomes registrados em nenhuma dessas sementes. As corporações que hoje patenteiam variedades derivadas dessas sementes crioulas têm autoria legal — mas os verdadeiros criadores não têm nada.

O PARADOXO DA AUTORIA AGRÍCOLA

10.000 ANOS DE SELEÇÃO HUMANA:
Agricultores anônimos selecionaram o milho do teosinto,
o tomate silvestre, o feijão primitivo.
Nenhum nome. Nenhuma marca. Nenhum reconhecimento.

HOJE — SISTEMA DE PATENTES:

Monsanto/Bayer modifica 3 genes de uma variedade crioula.
Patenteia. Exige royalties. Proíbe o agricultor de guardar semente.
Nome registrado: Monsanto. Autoria reconhecida: Monsanto.

O QUE O ARCA PODE MUDAR:

Welson Perli Pereira aplica protocolo RFS em 4 gerações.
Constrói resiliência epigenética documentada e mensurável.
Assina molecularmente as sementes que melhorou.
Qualquer MinION no mundo lê: 'Assinatura ARCA — Welson P.P.'
Autoria irrefutável. Sem patente. Sem exclusividade.
Apenas verdade molecular gravada na semente.

1.3 Precedentes Científicos — A Natureza Já Faz Isso

A ideia de assinatura epigenética não parte do zero. A natureza e a ciência já demonstraram que padrões de metilação são suficientemente específicos para identificar origem, autoria e processo:

Precedente	O Que Demonstra	Relevância para ARCA
Impressão digital epigenética humana	Padrão de metilação do DNA é único por indivíduo — usado em medicina forense	Se funciona para identificar humanos, funciona para identificar protocolos
Relógio epigenético de Horvath (2013)	Padrão de metilação em ~350 sítios CpG prediz idade biológica com precisão de ± 3 anos	Demonstra que padrões de metilação carregam informação temporal precisa
Metagenômica forense de solo	MinION identifica origem geográfica de amostra de solo pelo perfil microbiano com 94% de precisão	Se o solo tem 'impressão digital', a semente também pode ter
Epialleles em plantas (Schmitz 2011)	Variantes de metilação herdáveis em Arabidopsis se mantêm por 30+ gerações sem mudança genética	Assinatura epigenética é estável e herdável por tempo suficiente
Epigenômica forense vegetal	Estudos de 2023–2024 identificam variedades de cannabis pelo perfil de metilação com 98% de acurácia	Identificação de variedade por epigenoma já é tecnicamente viável

2. AS TRÊS FORMAS DE ASSINATURA EPIGENÉTICA AUTORAL

2.1 Forma 1 — Assinatura por Padrão de Seleção (Disponível Hoje)

A forma mais imediata e já implementável. Cada protocolo RFS com sequência específica de estresses produz um padrão de DMRs reconhecível — como uma composição musical onde a sequência das notas identifica o compositor.

COMO FUNCIONA A ASSINATURA POR PADRÃO DE SELEÇÃO

PROTOCOLO DOCUMENTADO (exemplo — Welson P.P. — Bahia 2024–2026):

Ciclo 1: Seca moderada 45 dias → Cladosporium F2 → Seleção

Ciclo 2: Calor 38°C × 15 dias → Seca 30 dias → Seleção

Ciclo 3: Ralstonia pressão controlada → Seca 45 dias → Seleção

Ciclo 4: Combinado (seca + calor + Cladosporium) → Seleção F4

PADRÃO DE METILAÇÃO RESULTANTE (assinatura):

DREB1: hipometilado (seca em ciclos 1, 2, 4)

HSP70: hipometilado (calor em ciclo 2)

PR-1: hipometilado (Cladosporium em ciclos 1, 4)

FLS2: hipometilado (Ralstonia em ciclo 3)

CalS: intermediário (Ralstonia apenas 1 ciclo)

LEA: hipometilado (seca recorrente)

WRKY22: hipometilado (patógenos múltiplos)

→ Essa combinação específica de 7 genes com esse estado exato de metilação NÃO EXISTE em nenhuma outra semente no mundo que não passou por esse protocolo específico.

VERIFICAÇÃO MinION:

Qualquer laboratório com MinION sequencia a semente, compara com banco de assinaturas ARCA,

identifica: 'Protocolo Welson P.P. — Série Bahia — F4 2026'

2.2 Forma 2 — Assinatura por Combinação Única de Estresses (Disponível Hoje)

Uma variação mais precisa da Forma 1: o epigenicista documenta não apenas os tipos de estresse, mas o timing exato, a intensidade mensurável e a ordem específica — criando um 'código de seleção' que produz uma assinatura molecular irreproduzível por acidente:

Parâmetro do Protocolo	Como Documentar	Como Aparece na Assinatura
Tipo de estresse	Nome do estresse aplicado (seca, calor, patógeno específico)	Quais genes estão hipometilados
Intensidade	Percentual de campo capacidade hídrica, °C, carga de inóculo UFC/mL	Grau de hipometilação — intensidade da marca
Duração	Número de dias de cada estresse	Profundidade da marca — quanto do genoma foi afetado
Timing no ciclo	Fase fenológica em que o estresse foi aplicado (V3, R1, R3...)	Quais regiões do genoma foram afetadas — varia por fase
Ordem dos estresses	Sequência cronológica exata	Interações entre marcas — efeito sinérgico específico
Critério de seleção	% de plantas selecionadas, critério fenotípico usado	Intensidade da seleção — nível de hipometilação mínimo

2.3 Forma 3 — Marca D'água Epigenética (Fronteira Científica 2026–2030)

A forma mais sofisticada e revolucionária. Utilizando ferramentas de edição epigenética como dCas9-DNMT3A (escreve metilação) e dCas9-TET1 (apaga metilação), é possível inserir um código binário literal em regiões não-funcionais do genoma — criando uma marca d'água molecular permanente e rastreável:

MARCA D'ÁGUA EPIGENÉTICA — CONCEITO TÉCNICO			
PRINCÍPIO:			
Metilado (5mC presente) = bit 1			
Não metilado = bit 0			
Selecione posições em regiões intergênicas neutras (que não afetam a fisiologia da planta), é possível escrever qualquer informação em código binário.			
EXEMPLO — ASSINATURA WELSON P.P. ARCA 2026:			
Posição	Estado	Bit	Char ASCII
Chr3:14521	5mC	1	
Chr3:14599	5mC	1	
Chr3:14677	5mC	1	
Chr3:14755	0	0	

```

Chr3:14833 | 1 | 1 |
Chr3:14911 | 1 | 1 |
Chr3:14989 | 0 | 0 |
Chr3:15067 | 1 | 1 | = 'W' (01010111 invertido)
[... continua para cada letra da assinatura ...]

```

INFORMAÇÃO CODIFICÁVEL:

Nome do epigenicista
 Instituição / projeto
 Ano e local
 Número de protocolo
 Hash do protocolo completo

LEITURA:

MinION sequencia as posições-alvo
 Software decodifica o padrão binário
 Exibe: 'WELSON PERLI PEREIRA — ARCA — BAHIA — 2026'

Ferramentas Necessárias para a Forma 3

Ferramenta	Função	Disponibilidade	Custo Estimado
dCas9-DNMT3A	Escreve metilação (5mC) em posição específica guiada por sgRNA	Disponível comercialmente — kits Addgene	USD 2.000–5.000 por protocolo
dCas9-TET1	Apaga metilação em posição específica	Disponível comercialmente	USD 2.000–5.000 por protocolo
sgRNA designer	Design dos RNA-guia para cada posição-alvo	Software gratuito (Benchling, CRISPOR)	Gratuito
MinION + DeepPlant	Verificação e leitura da marca d'água	Já integrado ao protocolo ARCA	Já contemplado
Software de codificação	Converte texto/hash em padrão binário de posições	A desenvolver — projeto Python simples	Baixo custo — colaboração universitária
Laboratório de transformação vegetal	Aplicação das ferramentas dCas9 na planta	ESALQ, EMBRAPA Recursos Genéticos, UFRJ	Parceria institucional

2.4 Comparação das Três Formas

Critério	Forma 1 — Padrão	Forma 2 — Código	Forma 3 — Marca D'água
----------	------------------	------------------	------------------------

	de Seleção	de Seleção	
Disponibilidade	Imediata — hoje	Imediata — hoje	2026–2030
Investimento adicional	Zero — usa protocolo existente	Zero — apenas documentação mais precisa	USD 5.000–15.000 por assinatura
Especificidade	Alta — mas pode haver sobreposição acidental	Muito alta — código único por protocolo	Absoluta — código binário literal
Leitura por terceiros	Requer banco de referência ARCA	Requer banco de referência ARCA	Leitura direta — autossuficiente
Estabilidade geracional	Alta — marcas funcionais são preservadas pela seleção	Alta	Depende de região intergênica escolhida
Impacto na fisiologia	Zero — é o próprio resultado da seleção	Zero	Zero — apenas regiões neutras
Reconhecimento legal atual	Nenhum — precisa ser criado	Nenhum — precisa ser criado	Nenhum — pioneiro mundial
Precedente filosófico	Forte — autoria pela prática	Muito forte — autoria pelo código	Máximo — autoria inscrita na vida

3. PROTOCOLO DE IMPLEMENTAÇÃO DA ASSINATURA ARCA

3.1 Registro do Protocolo de Seleção — Base da Assinatura

O primeiro passo é documentar cada protocolo RFS com precisão suficiente para ser reprodutível e verificável. Este é o 'código-fonte' da assinatura — sem ele, a assinatura não pode ser verificada por terceiros:

FICHA DE REGISTRO DE PROTOCOLO — MODELO ARCA

PROTOCOLO ARCA — REGISTRO DE ASSINATURA

ID único: ARCA-WPP-2024-001

Epigenicista: Welson Perli Pereira

Instituição: Projeto ARCA

Local: Feira de Santana, Bahia, Brasil

Período: Jan/2024 - Dez/2026

VARIEDADE: Milho Arca Quixadá — Geração F1 inicial

GENOMA DE REFERÊNCIA: Zea mays B73 RefGen_v4

CICLO 1 (Jan-Abr/2024):

Estresse 1: Seca — 45 dias — 30% campo capacidade

Estresse 2: Cladosporium — 1×10^5 conídios/mL — fase V6

Seleção: 15% plantas menos afetadas → F2

MinION pré: DREB hipometilado em 23% das células

MinION pós: DREB hipometilado em 67% das células

CICLO 2 (Mai-Ago/2024):

Estresse 1: Calor — $38^\circ\text{C} \times 18$ dias — fase V3-V8

Estresse 2: Seca — 30 dias — 25% campo capacidade

Seleção: 15% → F3

MinION: HSP70 hipometilado em 54% das células

CICLO 3 (Set/2024-Jan/2025):

Estresse 1: Ralstonia — Phylotype I — 10^8 UFC/mL

Estresse 2: Seca — 40 dias

Seleção: 10% → F4

MinION: FLS2 hipometilado em 71% das células

CICLO 4 (Fev-Jun/2025):

Estresse combinado: Seca + Calor + Cladosporium

Seleção: 10% → F5

MinION final: Scorecard 13/14 – Treinada Consolidada

ASSINATURA EPIGENÔMICA RESULTANTE (DMRs diagnósticas):

DREB1: Chr1:285.441.203 – hipometilado > 60%

HSP70: Chr3:14.521.447 – hipometilado > 50%

PR-1: Chr5:198.334.771 – hipometilado > 55%

FLS2: Chr9:87.223.114 – hipometilado > 65%

LEA: Chr2:43.117.882 – hipometilado > 70%

WRKY22: Chr4:156.892.003 – hipometilado > 45%

HASH DO PROTOCOLO: SHA256:a3f7e9b2c4d1...

3.2 Banco de Assinaturas ARCA — Estrutura

O banco de assinaturas é o repositório central que permite a verificação por terceiros. Funciona como um cartório molecular — registra, preserva e autentica assinaturas epigenéticas:

Componente	Conteúdo	Formato	Acesso
Registro de protocolos	Fichas completas de cada protocolo RFS com todos os parâmetros	PDF + JSON estruturado	Público — DOI registrado
Perfis de DMRs de referência	Coordenadas cromossômicas e estado de metilação para cada assinatura	BED + bedGraph (bioinformática)	Público — repositório GitHub ARCA
Pipeline de verificação	Script Python/R que compara semente desconhecida com banco	Código aberto — MIT license	Público — GitHub ARCA
Registro de lotes	Quais lotes de sementes carregam qual assinatura	Tabela + QR code por saco de sementes	Público
Histórico longitudinal	Evolução epigenética de cada variedade por geração (F1 → F10+)	Banco de dados temporal	Público — acesso livre
Certificados de assinatura	Documento formal atribuindo autoria ao epigenicista	PDF assinado digitalmente + hash	Público + registro em cartório

3.3 Pipeline de Verificação de Assinatura

FLUXO DE VERIFICAÇÃO — QUALQUER LABORATÓRIO DO MUNDO

ENTRADA: Semente desconhecida de origem suspeita ou incerta

↓

PASSO 1: Extrair DNA (protocolo CTAB padrão – 4-6h)

↓

PASSO 2: Sequenciar com MinION – Ligation Kit (48-72h)
Foco nas regiões-diagnósticas do banco de assinaturas ARCA
(se triagem rápida: Rapid Kit – apenas 6 loci-alvo – 24h)

↓

PASSO 3: Rodar script de verificação ARCA (Python – código aberto)
Input: arquivo de metilação .bedGraph do MinION
Processo: comparação com banco de DMRs de referência
Threshold: > 80% de concordância = match confirmado

↓

PASSO 4: OUTPUT DO SISTEMA

```
ASSINATURA IDENTIFICADA:
Epigenicista: Welson Perli Pereira
Protocolo ID: ARCA-WPP-2024-001
Variedade: Milho Arca Quixadá
Geração: F4 (2025/26)
Local de origem: Feira de Santana, BA, Brasil
Concordância: 94.3% (threshold: 80%)
Status: ASSINATURA ARCA VERIFICADA ✓
```

3.4 QR Code Epigenético — Rastreabilidade Física

Cada saco de sementes certificadas ARCA recebe um QR code que vincula o lote físico ao seu registro epigenético digital — criando rastreabilidade completa da semente ao laboratório:

Item no QR Code	Informação	Verificável por
ID do lote	ARCA-WPP-2024-001-F4-LOTE-047	Qualquer smartphone
Link ao registro público	URL para ficha completa do protocolo no repositório ARCA	Qualquer navegador
Hash SHA256	Impressão digital do protocolo — detecta adulteração	Software de verificação

Assinatura epigenômica resumida	Top 6 DMRs diagnósticas em formato compacto	MinION + script ARCA
Score de rastreabilidade	Nível de certeza da assinatura (A/B/C)	Leitura visual imediata
Nome do epigenicista	Welson Perli Pereira — Projeto ARCA	Qualquer smartphone

4. DIMENSÕES ÉTICAS, LEGAIS E FILOSÓFICAS

4.1 Um Novo Tipo de Direito Autoral

A assinatura epigenética ARCA não é uma patente. É algo mais profundo, mais justo e mais duradouro — um direito autoral molecular de novo tipo, sem precedente no direito internacional:

Critério	Patente Genética (modelo corporativo)	Assinatura Epigenética ARCA
Quem pode ter	Apenas corporações com recursos para depósito	Qualquer epigenicista — agricultor, pesquisador, guardião
Exclusividade	Proíbe outros de usar — excludente	Não proíbe ninguém — apenas atribui autoria
Custo	USD 50.000–500.000 por patente	Custo do sequenciamento MinION — USD 100–200
Duração	20 anos — depois cai em domínio público	Permanente — gravada na semente para sempre
O que protege	Direito comercial de exclusividade	Verdade histórica de autoria e origem
Efeito sobre sementes crioulas	Privatiza herança comum da humanidade	Documenta e protege herança como bem coletivo com autor conhecido
Compatível com troca de sementes	Não — viola direito do agricultor	Sim — a troca é livre, a autoria é preservada
Reconhecimento atual	Amplo — sistema legal global	Zero — precisa ser criado — ARCA pode ser o pioneiro

4.2 A Responsabilidade que a Assinatura Implica

Assinar uma semente epigeneticamente não é apenas um ato de reivindicação — é um ato de responsabilidade. Quem assina se compromete com a qualidade do que construiu. As gerações futuras poderão verificar:

- Se a resiliência prometida pelo protocolo está de fato presente na semente
- Se o epigenoma está estável ou se degradou ao longo das gerações
- Se o protocolo foi seguido com a precisão documentada
- Se os estresses aplicados foram os que produziram a assinatura registrada
- Se houve cruzamento com variedades não autorizadas que alteraram a assinatura

PRINCÍPIO ÉTICO FUNDAMENTAL
'Quem assina uma semente epigeneticamente está dizendo

às gerações futuras: eu estava aqui, eu melhorei isso,
eu me responsabilizo pelo que deixei.

Se funciona — meu nome está gravado na vida.
Se não funciona — meu nome também está.'

— Princípio ARCA de Autoria Epigenética

4.3 Proteção Contra Biopirataria

Uma das aplicações mais imediatas e práticas da assinatura ARCA é a proteção contra biopirataria — a apropriação indevida de variedades crioulas por corporações ou instituições sem reconhecimento de origem:

Cenário de Biopirataria	Como a Assinatura ARCA Protege
Corporação coleta semente ARCA e deposita patente modificando 2 genes	Assinatura epigenética nos genes funcionais demonstra origem ARCA — invalidação da patente por anterioridade
Instituição de pesquisa publica resultados de variedade ARCA sem citar origem	Banco de assinaturas comprova autoria — exigência de correção e atribuição
Distribuição de semente ARCA sem origem identificada	QR code + MinION verificam assinatura em qualquer ponto da cadeia
Alegação de melhoramento independente por terceiro	Padrão específico de DMRs é irreproduzível por acidente — prova de origem
Perda de rastreabilidade ao longo de gerações	Assinatura é herdável e verificável em F5, F10, F20 — persistência garantida

4.4 A Dimensão Civilizacional — Memória para o Futuro

Além da proteção legal e do reconhecimento autoral, a assinatura epigenética ARCA tem uma dimensão civilizacional mais profunda: pela primeira vez na história da agricultura, é possível deixar uma mensagem legível para o futuro gravada diretamente na vida.

CARTA PARA O FUTURO — GRAVADA NA SEMENTE

Uma semente com assinatura ARCA carrega implicitamente a mensagem:

'Esta semente foi melhorada com intenção, cuidado e ciência.
Ela sobreviveu à seca do semiárido baiano.

Ela resistiu ao Cladosporium e à Ralstonia.
Ela foi selecionada por mãos que acreditavam
que a vida pode ser melhorada sem ser privatizada.

Se você está lendo esta assinatura molecular
– seja daqui a 10 ou 500 anos –
saiba que alguém em Feira de Santana, Bahia, Brasil,
no ano de 2026, construiu resiliência nesta semente
para que você pudesse ter comida.

Welson Perli Pereira
Projeto ARCA
Bahia, Brasil, 2026'

Nenhuma patente já disse algo assim.
Nenhuma tecnologia agrícola já foi capaz disso.
O MinION e o epigenoma tornam isso possível agora.

5. ROADMAP DE IMPLEMENTAÇÃO E PUBLICAÇÕES

5.1 Plano de Implementação em Fases

Fase	Período	Atividade	Resultado
Fase 1 — Fundação	Mês 1–3	Registrar formalmente o primeiro protocolo ARCA. Sequenciar F4 existente e documentar DMRs de referência. Criar repositório público no GitHub ARCA.	Primeira assinatura epigenética ARCA registrada no mundo
Fase 2 — Banco de Assinaturas	Mês 3–9	Registrar assinaturas de 5 protocolos e 10 variedades. Desenvolver pipeline de verificação Python. Criar QR codes para lotes.	Sistema de verificação funcional e público
Fase 3 — Framework Legal	Mês 6–18	Colaborar com advogados de propriedade intelectual e bioética. Propor framework de Direito Autoral Epigenético. Submeter à CBD (Convenção sobre Diversidade Biológica).	Primeiro instrumento legal de assinatura epigenética crioula
Fase 4 — Marca D'água	Ano 2–4	Parceria com ESALQ/EMBRAPA para protocolo dCas9-DNMT3A. Escolher regiões intergênicas neutras. Desenvolver código de codificação binária.	Primeira semente com marca d'água epigenética literal no mundo
Fase 5 — Expansão Global	Ano 3+	Oferecer protocolo de assinatura para redes de guardiões de sementes em outros países. Criar padrão aberto de assinatura epigenética crioula.	Padrão global ARCA para autoria epigenética de variedades crioulas

5.2 Publicações Científicas e Filosóficas Potenciais

Título	Tipo de Publicação	Periódico / Veículo Alvo
Epigenetic Authorship: A Framework for Molecular Attribution in Participatory Crop Breeding	Artigo científico — metodologia	Nature Plants (IF 18.0) ou Plant Cell
The ARCA Epigenetic Signature System: Traceability, Authorship, and Sovereignty in Heirloom Seed Networks	Artigo científico — sistema	PLOS Biology (acesso aberto)
Beyond Patents: Epigenetic Watermarking as a New Form of Intellectual Property in Living Organisms	Artigo de opinião / policy	Science ou Nature — seção Policy Forum

Molecular Memory as Cultural Heritage: The Philosophical Foundations of Epigenetic Authorship	Artigo filosófico	Journal of Agricultural and Environmental Ethics
A Assinatura na Semente: Como o Projeto ARCA Criou um Novo Direito Autoral Molecular	Livro / Manifesto	Editora independente ARCA — distribuição livre

5.3 Parceiros Estratégicos para a Implementação

Tipo de Parceiro	Exemplos	Contribuição
Instituições legais e bioética	CBD — ONU, GRAIN, La Via Campesina	Framework legal internacional para assinatura epigenética
Laboratórios de edição epigenética	ESALQ-USP, EMBRAPA Recursos Genéticos, UFRJ	Implementação da Forma 3 — marca d'água dCas9
Redes de guardiões de sementes	Seed Savers Exchange, ProSpecieRara, CCBA	Expansão global do sistema de assinatura ARCA
Desenvolvedores de software	Comunidade BioPython, Galaxy Project	Pipeline de verificação open source
Filósofos e juristas	Universidades de bioética e direito ambiental	Framework conceitual e legal

"Pela primeira vez na história da agricultura, um ser humano pode dizer às gerações futuras:

eu estava aqui, eu melhorei isso, e aqui está minha assinatura gravada na vida."

Welson Perli Pereira | Projeto ARCA | Bahia, Brasil | Junho de 2026