

Do Código ao Campo: Uma Metodologia para Estimar Custos de Blockchain no Agronegócio

Fábio R. Silva¹, Roben C. Lunardi^{2,3}, Diego Kreutz¹, Rodrigo B. Mansilha¹

¹PPGES – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

²Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS)

³Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

{fabiosilva.aluno, diegokreutz, rodrigomansilha}@unipampa.edu.br

roben.lunardi@restinga.ifrs.edu.br

Abstract. *The adoption of blockchain in agro-industrial traceability systems is constrained by the execution costs of smart contracts, which vary across networks and usage conditions. This work proposes a methodology to estimate and compare these costs by integrating on-chain execution measurements with economic indicators from the Brazilian agricultural sector obtained from IBGE. The approach is implemented in the Smart Agro Cost solution, which automates contract execution, records gas consumption, and enables comparative analyses across blockchain networks and production contexts. The results allow the evaluation of the economic impact of blockchain adoption in real production scenarios.*

Resumo. *A adoção de blockchain em sistemas de rastreabilidade agroindustrial é limitada pelos custos de execução de contratos inteligentes, que variam entre redes e condições de uso. Este trabalho propõe uma metodologia para estimar e comparar esses custos, integrando medições de execução on-chain a indicadores econômicos do setor agropecuário brasileiro obtidos do IBGE. A abordagem é implementada na solução Smart Agro Cost, que automatiza a execução de contratos, registra o consumo de gas e permite análises comparativas entre redes blockchain e contextos produtivos. Os resultados permitem avaliar o impacto econômico da adoção de blockchain em cenários reais de produção.*

1. Introdução

A rastreabilidade tem se consolidado como um requisito central nas cadeias agroindustriais brasileiras [Santos et al. 2024], impulsionada tanto por exigências regulatórias, como a Instrução Normativa Conjunta nº 02/2018 [BRASIL 2018], quanto pela crescente demanda por transparência e segurança alimentar. A necessidade de comprovar a origem e o histórico dos produtos torna-se ainda mais relevante diante da ampliação do acesso a mercados internacionais mais exigentes [Brasil 2026]. Nesse contexto, mecanismos capazes de garantir integridade, auditabilidade e confiabilidade das informações tornam-se estratégicos para assegurar conformidade regulatória e competitividade nas cadeias agroalimentares.

Nesse cenário, a tecnologia blockchain tem sido apontada como uma alternativa promissora para sistemas de rastreabilidade, pois permite o registro distribuído, imutável

e verificável de informações relacionadas à produção, transporte e comercialização de produtos [Silva et al. 2025, Fan et al. 2025]. Apesar desse potencial, a adoção prática dessas soluções no agronegócio ainda enfrenta barreiras econômicas e operacionais. Entre elas, destaca-se o custo de execução de contratos inteligentes, representado pelas taxas de *gas* [ETHERSCAN 2024] necessárias para registrar e processar informações *on-chain*. Esses custos variam entre redes blockchain, dependem da demanda transacional e podem influenciar diretamente a viabilidade econômica das aplicações.

Neste trabalho, propomos uma metodologia para estimar e comparar os custos de execução de contratos inteligentes em diferentes redes blockchain, integrando medições de execução *on-chain* a indicadores econômicos reais do setor agropecuário. Para operacionalizar essa abordagem, foi desenvolvida a solução computacional *Smart Agro Cost*, disponibilizada publicamente como software de código aberto e em versão online [Smart Agro Cost 2026a, Smart Agro Cost 2026b]. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. Na Seção 3 é descrita a metodologia adotada e, na Seção 4, a solução proposta. A Seção 5 apresenta a prova de conceito. Por fim, a Seção 6 traz as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos estudos investigam custos e desempenho de contratos inteligentes em redes blockchain. Entretanto, a maioria dessas análises é conduzida em cenários específicos ou com foco predominantemente técnico. A Tabela 1 apresenta uma síntese comparativa dos trabalhos selecionados, considerando critérios como suporte a múltiplas redes, automação do processo de análise, uso de indicadores econômicos reais e possibilidade de replicação para diferentes contratos.

Tabela 1. Trabalhos relacionados.

Título [Referência]	Custo Multi Redes	Ferramenta Automatizada	Indicadores Reais	Replicável para Diferentes Contratos
Análise de Custo e Desempenho de Protocolos para Interoperabilidade de Tokens em Redes Blockchain [Muniz et al. 2025]	Sim	Não	Não	Não
Avaliando o Custo de Contratos Inteligentes em Aplicações Blockchain por meio de Ambientes de Simulação [Coutinho et al. 2020]	Não	Não	Não	Não
GASOL: Gas Analysis and Optimization for Ethereum Smart Contracts [Albert et al. 2020]	Não	Sim	Não	Sim
Performance and Cost Evaluation of Public Blockchain: An NFT Marketplace Case Study [Rasolroveicy and Fokaefs 2022]	Sim	Não	Não	Não
Este trabalho	Sim	Sim	Sim	Sim

O estudo de [Muniz et al. 2025] analisa custos e desempenho de protocolos de interoperabilidade entre blockchains, avaliando diferentes mecanismos de transferência de ativos em ambientes experimentais controlados. O trabalho de [Coutinho et al. 2020] estima o consumo de *gas* de um contrato voltado a campanhas de doação por meio de simulações, destacando a influência da variação cambial nos custos. Já [Albert et al. 2020] propõe uma ferramenta para análise e otimização de contratos inteligentes na rede Ethereum, com foco na redução do consumo de *gas*. Por sua vez, [Rasolroveicy and Fokaefs 2022] realiza uma avaliação comparativa de desempenho e

custos entre redes públicas no contexto de um marketplace de NFTs, considerando cenários simulados.

De forma geral, esses estudos concentram-se em contratos ou cenários específicos e priorizam métricas técnicas de desempenho ou otimização. Poucos trabalhos integram estimativas de custo *on-chain* a indicadores econômicos reais do domínio de aplicação, o que limita análises de viabilidade econômica em contextos produtivos concretos. Como contraponto, este trabalho propõe uma metodologia automatizada para estimar e comparar custos de execução de contratos inteligentes em múltiplas redes blockchain, relacionando-os a indicadores econômicos do agronegócio brasileiro.

3. Metodologia

A metodologia proposta é composta por quatro etapas principais: (i) coleta de indicadores agropecuários, (ii) obtenção dos custos de contratos inteligentes, (iii) integração dos dados e (iv) análise e visualização dos resultados, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Etapas do fluxo metodológico.

Etapa	Descrição
Coleta de Indicadores Agropecuários	Para caracterizar o contexto econômico do setor agropecuário, foram utilizados dados do Censo Agropecuário do IBGE, obtidos por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). O objetivo é identificar a quantidade de estabelecimentos produtores e o valor anual das vendas dos itens analisados. Foram considerados diferentes recortes geográficos (município de Alegrete, Estado do Rio Grande do Sul, Região Sul e totalidade do Brasil). Os dados foram organizados e armazenados em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), formando a base econômica utilizada nas análises.
Obtenção dos Custos dos Contratos	Foi desenvolvida uma ferramenta computacional que automatiza a compilação, o <i>deploy</i> e a execução de contratos inteligentes, permitindo o registro do consumo de <i>gas</i> de cada função executada. A compilação é realizada por meio do compilador <i>Solc</i> , enquanto a execução ocorre via <i>Hardhat</i> . A ferramenta consulta serviços externos para obter valores atualizados de <i>gas</i> nas redes selecionadas e cotações de criptomoedas. Todas as informações, incluindo contrato, função, consumo de <i>gas</i> e custo estimado por rede, são armazenadas no SGBD. Adicionalmente, um script automatizado coleta, a cada 15 minutos, as cotações e os preços de <i>gas</i> das redes Ethereum, BNB Chain e Polygon, armazenando as informações em um banco de dados online para formação de séries históricas e cálculo de médias.
Integração dos Dados	Os custos técnicos de execução são combinados aos indicadores agropecuários por meio de consultas estruturadas ao banco de dados. A interface disponibiliza filtros ao usuário, tais como área de abrangência, atividade, entre outros, viabilizando análises comparativas entre diferentes redes blockchain e contextos produtivos.
Análise e Visualização	Os resultados são apresentados por meio de gráficos e tabelas contendo estimativas de custo para a adoção da tecnologia blockchain, conforme os filtros selecionados, além da avaliação do impacto desses custos em relação ao faturamento anual de cada segmento analisado.

4. Solução Proposta

A solução *Smart Agro Cost* foi desenvolvida para estimar e comparar os custos de execução de contratos inteligentes em múltiplas redes blockchain, relacionando esses custos a indicadores econômicos reais do setor agropecuário. O código-fonte da solução está disponível publicamente em um repositório GitHub, assim como sua versão online [Smart Agro Cost 2026a, Smart Agro Cost 2026b].

Análise. A solução foi projetada para apoiar pesquisadores, gestores do agronegócio e desenvolvedores interessados em avaliar o custo de adoção de contratos inteligentes no contexto agropecuário. Esses usuários compartilham a necessidade de compreender não apenas os custos técnicos associados às transações em blockchain, mas também seus impactos econômicos em diferentes escalas de produção. A solução proposta automatiza o processo de análise de custos ao realizar de forma integrada a compilação, implantação e execução de contratos inteligentes, eliminando a necessidade de manipulação manual de ambientes como o Remix. Os custos obtidos são contex-

tualizados por meio da integração com dados econômicos reais provenientes do Censo Agropecuário do IBGE.

Arquitetura. A arquitetura, ilustrada na Figura 1, segue o modelo C4 e foi implementada como um MVP composto por três componentes principais: (i) um cliente web (HTML/JS/CSS), responsável pela interface de interação com o usuário; (ii) um servidor backend em Node.js/Express, responsável pela execução das análises e integração com serviços externos; e (iii) um banco de dados SQLite, utilizado para armazenar contratos, medições de *gas*, custos estimados e indicadores agropecuários. Adicionalmente, um banco de dados PostgreSQL online é utilizado para armazenar séries históricas de cotações e valores de *gas price*. O sistema também consulta serviços externos, como a CoinGecko e provedores RPC de redes blockchain, para obtenção de cotações e valores de *gas price*.

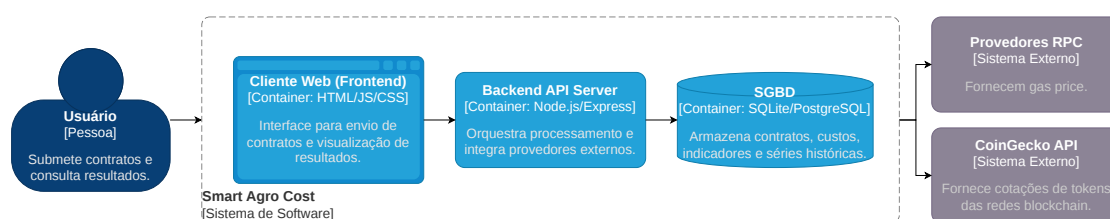


Figura 1. Arquitetura da solução proposta.

5. Prova de Conceito

A prova de conceito foi desenvolvida para validar experimentalmente a arquitetura e a metodologia propostas. A interface foi projetada para simplificar a execução dos experimentos, eliminando a necessidade de coleta manual de logs ou de interação direta com ferramentas de linha de comando.

Para obter a estimativa de custo de execução de um *smart contract*, o fluxo operacional compreende quatro etapas: (i) validação dos contratos enviados, (ii) compilação e implantação em ambiente local, (iii) execução das funções com registro do consumo de *gas* e (iv) cálculo dos custos com base no *gas* consumido, no *gas price* e na cotação das criptomoedas. Os resultados são apresentados na interface da solução (Figura 2) e armazenados no SGBD para posterior integração com indicadores econômicos.

```
🌐 Custos por rede:
BNB Chain: 0.00001158325 binancecoin ≈ $0.0077 / R$0.0403 (gasPrice: 0.05 Gwei)
Ethereum: 0.000045317660259655 ethereum ≈ $0.0958 / R$0.5037 (gasPrice: 0.195617207 Gwei)
Polygon: 0.02838599397615681 polygon-ecosystem-token ≈ $0.0028 / R$0.0147 (gasPrice: 122.530351914 Gwei)
```

Figura 2. Exibição dos custos de execução de uma função.

A integração com indicadores econômicos permite contextualizar os custos em cenários produtivos reais e realizar comparações entre atividades agropecuárias, regiões e redes blockchain. A Figura 3 apresenta uma simulação da adoção de blockchain em Alegrete-RS para dois produtos na rede BNB Chain. Considerando a comercialização integral da produção em um único lote, o impacto estimado sobre o faturamento total é de aproximadamente 0,14% para produtores de mandioca e 0,06% para produtores de laranja. Os experimentos utilizaram um contrato de rastreabilidade selecionado dentre os contratos disponibilizados no repositório da solução *Smart Agro Cost*. A estimativa

de custo considerou o somatório do consumo de *gas* das funções executadas no fluxo de rastreabilidade do contrato analisado, totalizando 8.080.782 unidades de *gas*. Para o cálculo dos custos monetários, foram utilizadas as médias de *gas price* e das cotações das criptomoedas observadas ao longo do período de 24 horas apresentado na Figura 4. Embora o cenário considere um único lote por produtor, os custos tendem a aumentar conforme o número de transações executadas, permitindo extrapolações para cenários com maior volume operacional.

#	Produto	Classificação	Estabelecimentos	Valor Vendido (BRL)	Custo Blockchain (BRL)	% Custo/Valor
1	Mandioca (aipim, macaxeira)	Agricultura	146	R\$ 139.000,00	R\$ 187,82	0.14%
2	Laranja	Agricultura	89	R\$ 200.000,00	R\$ 114,50	0.06%

Figura 3. Relatório gerado pela solução.

A Figura 4 apresenta a evolução temporal dos custos estimados de execução, calculados com base na variação do *gas price* e da cotação das criptomoedas nas três redes analisadas ao longo de 24 horas. Observam-se variações entre redes e também ao longo do tempo dentro de uma mesma rede, em função das condições de uso da rede no momento da execução. A rede Ethereum apresenta, de forma consistente, custos mais elevados ao longo do período analisado, enquanto a Polygon apresenta valores menores, porém com maior variabilidade. A BNB Chain demonstra comportamento relativamente mais estável ao longo do período analisado.

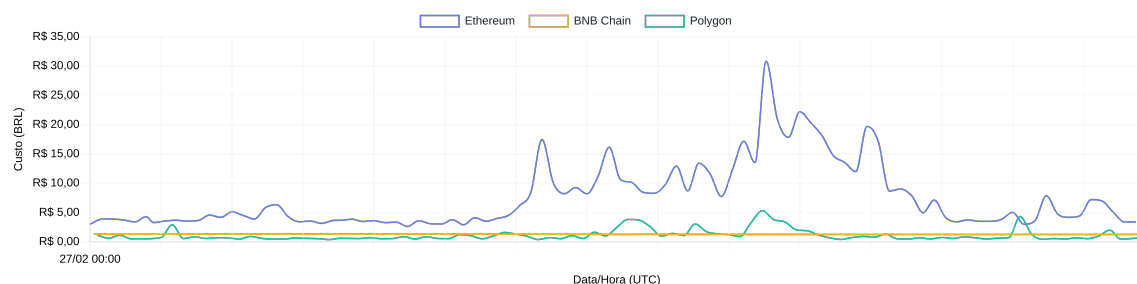


Figura 4. Evolução temporal dos custos estimados para um consumo de 8.080.782 unidades de *gas* (27/02/2026 00:00 a 27/02/2026 23:45, UTC).

6. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma metodologia para estimar e comparar os custos de execução de contratos inteligentes em diferentes redes blockchain, integrando medições técnicas *on-chain* a indicadores econômicos reais do setor agropecuário brasileiro. A abordagem permite avaliar a viabilidade econômica da adoção de blockchain em cenários produtivos concretos. A implementação na solução *Smart Agro Cost* demonstrou a viabilidade prática da proposta, automatizando a execução e análise de contratos inteligentes e permitindo comparações entre redes. Os resultados indicam que os custos variam entre redes e ao longo do tempo, mas podem representar uma fração reduzida do faturamento em determinados contextos produtivos. Como limitações, destaca-se que os experimentos foram conduzidos em ambiente controlado, considerando cenários simplificados de rastreabilidade. Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a análise para novos contratos, cadeias produtivas e cenários de uso envolvendo diferentes volumes transacionais e infraestruturas blockchain.

Agradecimentos

Este estudo foi parcialmente financiado pelo CNPq; pela FAPERGS (2026 25/2551-0002572-9); FAPESP (2020/05183-0 e 2023/00816-2); e pelo CNPq/MCTI/FNDCT N° 22/2024, projeto número 444727/2024-8. Adicionalmente, Roben Lunardi recebe apoio do IFRS e é bolsista de pós-doutorado da CAPES (PIPD/CAPES).

Referências

- Albert, E., Correias, J., Gordillo, P., Román-Díez, G., and Rubio, A. (2020). Gasol: Gas analysis and optimization for ethereum smart contracts. In Biere, A. and Parker, D., editors, *Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems*.
- BRASIL (2018). Instrução normativa conjunta - inc nº 2, de 7 de fevereiro de 2018. https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/2915263/dol-2018-02-08-instrucao-normativa-conjunta-inc-n-2-de-7-de-fevereiro-de-2018-2915259.
- Brasil, A. (2026). Entenda em 13 pontos o acordo mercosul-ue. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2026-01/entenda-em-13-pontos-o-acordo-mercosul-ue>. Acesso em: jan. 2026.
- Coutinho, E., Maia, D., Bezerra, W., and Abreu, A. (2020). Avaliando o custo de contratos inteligentes em aplicações blockchain por meio de ambientes de simulação. In *Anais do II Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*.
- ETHERSCAN (2024). What is gas fee? <https://info.etherscan.com/what-is-gas-fee/>. Acesso em: 06 mar. 2025.
- Fan, H., Nogueira, R., Neves, B., Silva, F., Lunardi, R., Kreutz, D., and Mansilha, R. (2025). Smart agro raf api. In *Anais da IX Escola Regional de Engenharia de Software*.
- Muniz, F., Mendonça, R., de Miranda, E., Ítalo Cardoso, Coelho, R., Vieira, A., Nacif, J., and Gonçalves, G. (2025). Análise de custo e desempenho de protocolos para interoperabilidade de tokens em redes blockchain. In *Anais do VIII Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações*, pages 1–14, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Rasolroveicy, M. and Fokaefs, M. (2022). Performance and cost evaluation of public blockchain: An nft marketplace case study. In *2022 4th Conference on Blockchain Research Applications for Innovative Networks and Services (BRAINS)*, pages 79–86.
- Santos, N., Goulart, A., Kersten, D., Cornelio, J., Basso, F., and Mansilha, R. (2024). Proraf: Rastreamento da agricultura familiar. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 241–244, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Silva, F., Neves, B., Fan, H., Lunardi, R., Kreutz, D., and Mansilha, R. (2025). Smart contracts para rastreamento da agricultura familiar. In *Anais do VIII Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações*, pages 112–125. SBC.
- Smart Agro Cost (2026a). Smart Agro Cost: Repositório do projeto no GitHub. <https://github.com/righisilva/smart-agro-cost>. Acesso em: 11 mar. 2026.
- Smart Agro Cost (2026b). Smart Agro Cost: Versão online da ferramenta. <https://smart-agro-cost.onrender.com/>. Acesso em: 11 mar. 2026.