

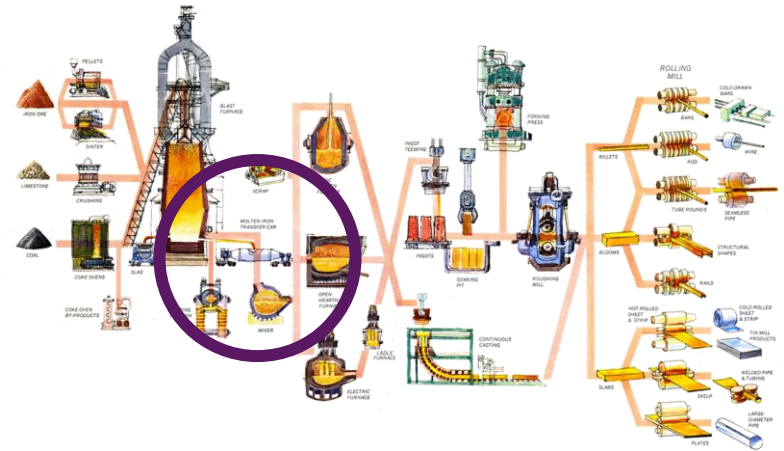
Modelo de Previsibilidade de Desgaste em Canais

Rodrigo Dalla Vecchia, Aloisio Simoes Ribeiro, Lucas Seibert,
Gustavo Luis Fett Götz, Rafael Romie , Alexandre Kappel e
Bernardo Gosaric de Barros.

EvcomX e RHI Magnesita

Contexto & Desafio

- **O projeto atua após a redução do minério**, focando na etapa de extração do metal líquido (gusa) do alto-forno.
- **A gusa é transportada por canais**, ponto crítico do processo, onde ocorre a separação da escória antes da próxima etapa do processo siderúrgico.
- **O revestimento refratário do canal é severamente desgastado**, sofrendo agressões tanto de origem química quanto física.
- **A preservação do canal é essencial**, dado seu papel estratégico no fluxo contínuo de produção do ferro gusa



Contexto & Desafio

- O problema motivador é a **baixa previsibilidade do desgaste refratário nos canais principais de transporte do alto-forno**. Em detalhe:
 - **Desgaste imprevisível após reparos:** as paredes refratárias se deterioram em ritmo variável e difícil de estimar, fazendo com que canais sejam parados antes ou depois do necessário.
 - **Decisões empíricas:** sem modelos de predição, engenheiros baseiam-se em experiência ou métodos indiretos, gerando uso sub ótimo do canal ou riscos de operação.
 - **Impactos operacionais e financeiros:** paradas antecipadas reduzem a produtividade e aumentam custos de manutenção; atrasos no reparo podem até comprometer a segurança e a qualidade do processo.

Objetivo da Iniciativa

- **Objetivo principal**
 - **Resolver a imprevisibilidade do desgaste refratário** nos canais principais de corrida do alto-forno, criando um modelo capaz de estimar com alta acurácia a vida útil residual do refratário a partir de variáveis operacionais e de scanner a laser.
 - **Auxiliar engenheiros de processo e operadores** na decisão do momento ótimo de parada para manutenção, evitando tanto paradas prematuras (uso sub ótimo do canal) quanto atrasos que possam comprometer segurança e qualidade.
- **Relevância para a comunidade de Open Innovation**
 - **Exemplo de cocriação entre players diversos:** reúne a expertise em refratários da RHI Magnesita, a agilidade e know-how de ciência de dados da startup EvcomX e o feedback das usinas parceiras, mostrando como a inovação aberta acelera soluções complexas.
 - **Compartilhamento de tecnologias avançadas:** combina técnicas de clustering não supervisionado e meta-regressão, demonstrando à comunidade metodologias de IA aplicáveis a desafios industriais de grande escala.

Tipo de Caso & Descrição da Prática

- **Coleta e integração de dados heterogêneos**
 - Agrupou-se, num único repositório, dados operacionais históricos do alto-forno (variáveis de vazão, temperatura, tempos de operação, sequência de reparos) juntamente com medições de desgaste extraídas por scanner a laser na linha de escória.
- **Modelagem em duas etapas**
 - Clustering não supervisionado
 - Regressor por cluster



Tipo de Caso & Descrição da Prática

- **Validação e refinamento colaborativo**

- Conduziram-se workshops quinzenais com engenheiros da RHI Magnesita e operadores de planta para revisar casos de teste, ajustar variáveis críticas e calibrar limites mínimos e máximos de operação.

- **Desenvolvimento de plataforma web interativa**

- Criou-se um dashboard responsivo, acessível via navegador, que exhibe:
 - **Tendência de desgaste** projetada ao longo do tempo, com curvas de confiança.
 - **Zonas seguras** de operação (limites inferior/superior) para evitar desgaste precário ou sub-uso.
 - **Alertas** para quando a previsão de vida útil residual se aproxima de thresholds definidos.

- **Entrega de valor operacional imediato**

- Implantou-se o software na rotina da usina parceira, gerando relatórios periódicos.

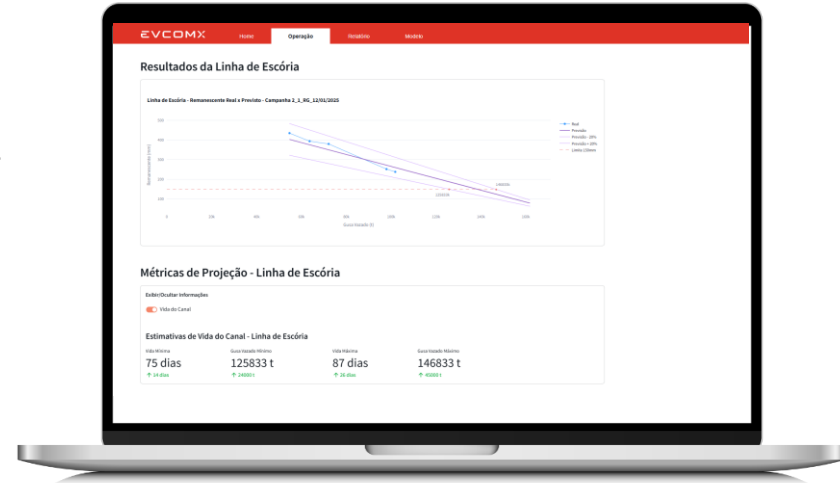
Originalidade & Inovação

Decisões Empíricas x Decisões Baseadas em Dados

- Tradicional: engenheiros confiam em inspeções visuais para agendar manutenção.
- Nossa prática: utilizamos modelos de machine learning para transformar variáveis operacionais e dados de scanner a laser em previsões da vida útil residual do refratário.

Interrupção de Produção x Predição Contínua

- Tradicional: medição da espessura refratária exige esvaziar o canal, interrompendo a produção.
- Nossa prática: inferência contínua de desgaste a partir de scanner a laser na linha de escória, sem paradas adicionais.



Colaboração & Engajamento

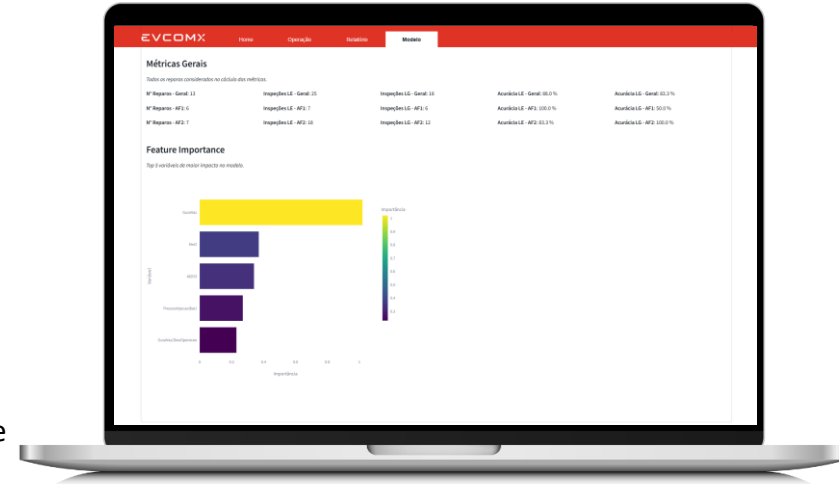
- A solução foi elaborada com parceria dos seguintes atores:
 - EvcomX
 - RHI Magnesita
 - Diversas Usinas Parceiras
- Acompanhamento quinzenal com reuniões para acompanhamento do desenvolvimento do modelo e compartilhamento de insights.
- Definição prévia de KPIs de sucesso compartilhados (ganhos de produtividade, redução de custos, aumento de segurança) e co-autoria em publicações.

Demonstração de Resultados

- A acurácia do modelo representa o **percentual de acertos do modelo em relação à espessura da parede refratária real** nas linhas de escória e gusa

Cliente	Acurácia Geral LE (%)	Acurácia Geral LG (%)
CSN	95	91
Gerdau	88	83
Ternium	83	87
Usiminas	81	77

- Maior acurácia, maior controle sobre o desgaste** do refratário, reduzindo paradas emergenciais
- Prolongamento do uso do canal**, com impactos no planejamento de manutenção e produtividade
- Cada cliente realiza **diferentes tipos de reparo** no canal, impactando o número de cenários distintos observados pelo modelo e consequentemente a sua acurácia.



Demonstração de Resultados

- **Acurácia geral dos modelos acima de 80%** para a linha de escória
- **7 canais** de corrida atendidos
- Mais de **360 inspeções** e **120 reparos avaliados**

Métricas por Inspeção

Atendimento do modelo em cada inspeção do Reparo

Linha de Escória - Remanescente Previsto x Real

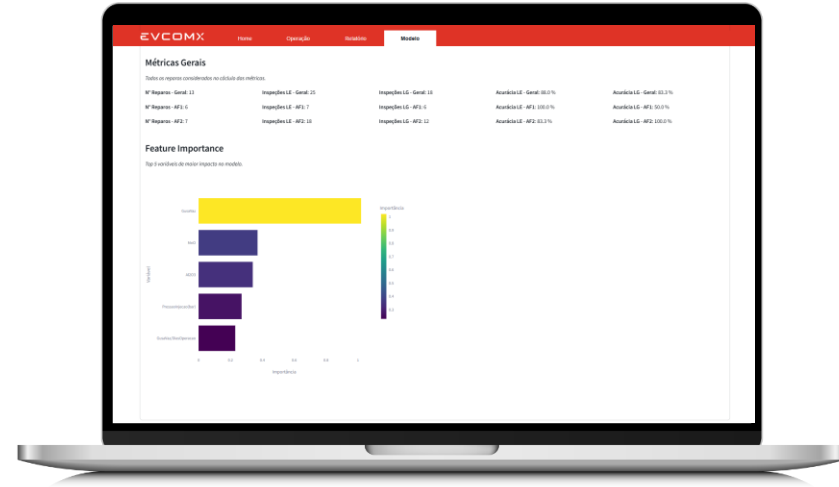


Escalabilidade & Replicabilidade

- A **padronização do processo de vazamento** de ferro gusa nos altos-fornos torna o modelo aplicável a diferentes unidades da indústria siderúrgica.
- A **escalabilidade do modelo de predição** permite sua expansão para novas plantas, aumentando o número de unidades atendidas.
- A **disponibilidade de dados operacionais, químicos e de scanner** é essencial para a aplicação efetiva do modelo em novas unidades.
- A **qualidade das inspeções com scanner a laser** é um fator crítico para garantir a precisão e a confiabilidade das previsões geradas.
- A **colaboração com equipes técnicas dos clientes** é fundamental para adaptar o modelo às particularidades de cada operação e viabilizar sua implementação.

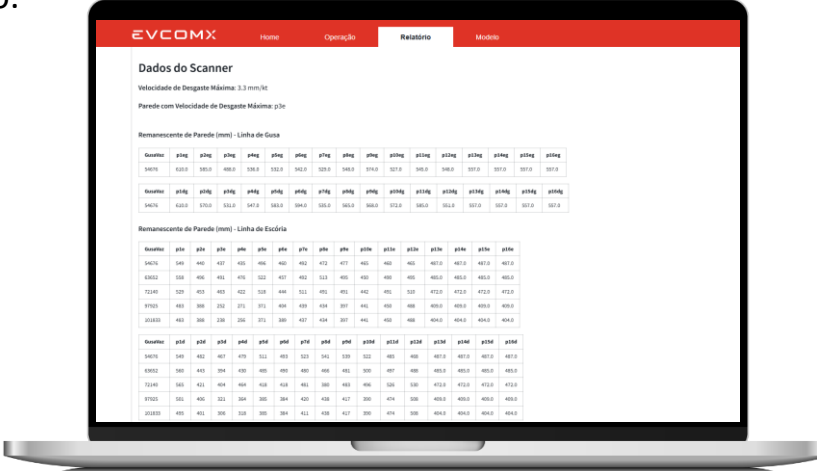
Lições Aprendidas & Recomendações Práticas

- **Imprecisões nos scanners a laser** exigem tratamento prévio dos dados para garantir a qualidade das dimensões das paredes refratárias.
- **Volume limitado de dados** demanda engenharia de variáveis e estratégias de treinamento adaptadas para melhorar a robustez dos modelos.
- **Rotinas de manutenção específicas por cliente** exigem modelos adaptáveis e tratamentos de dados personalizados para cada cenário e canal.
- **Histórico de dados confiáveis** colabora com a melhora de performance do modelo.



Lições Aprendidas & Recomendações Práticas

- **Medições contínuas com scanner a laser** são essenciais para que o modelo compreenda a dinâmica do desgaste ao longo da operação — poucas medições limitam essa compreensão.
- **Medições pós-esvaziamento do canal** são cruciais para entender o desgaste na linha de gusa, já que não se pode medir durante a operação.
- **Dados de composição química e operação** enriquecem o modelo com variáveis relevantes e aumentam sua capacidade preditiva.



The screenshot displays the EVCOMX software interface. At the top, there are navigation tabs: Home, Operação, Relatório, and Modelo. The main content area is titled 'Dados do Scanner' and includes the following information:

- Velocidade de Desgaste Máxima: 3.3 mm/it
- Parede com Velocidade de Desgaste Máxima: p3e

Below this, there are two data tables:

Remanescente de Parede (mm) - Linha de Gusa

Quantia	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e
54076	425.0	385.0	405.0	328.0	322.0	345.0	325.0	345.0	312.0	345.0	345.0	327.0	345.0	345.0	327.0	327.0	327.0	327.0
54076	425.0	370.0	332.0	347.0	383.0	394.0	383.0	394.0	383.0	372.0	383.0	383.0	383.0	383.0	383.0	383.0	383.0	383.0

Remanescente de Parede (mm) - Linha de Escória

Quantia	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e	p3e
54076	345	445	427	435	465	465	472	477	442	465	465	465	465	465	465	465	465	465
63032	355	406	411	475	522	467	462	513	406	435	495	465	465	465	465	465	465	465
72349	525	453	453	422	528	444	511	491	442	491	511	472.0	472.0	472.0	472.0	472.0	472.0	472.0
97923	453	368	372	371	371	404	438	438	397	441	450	468	468.0	468.0	468.0	468.0	468.0	468.0
30333	453	368	238	206	371	389	437	434	397	441	450	468	468.0	468.0	468.0	468.0	468.0	468.0

A second table with the same structure as the first one follows, representing another set of scanner data.

Encerramento & Contato

Resumo

- Previsibilidade de desgaste em refratários
- Técnica de regressão por cluster
- Aprimoramento do processo de monitoramento do canal de corrida
- Melhoria no planejamento de manutenção
- Redução de paradas de processo
- Aumento de produtividade e da segurança operacional

Próximos Passos

- Case replicável em outras empresas
- Aprimoramento da ferramenta e interface



ALEXANDRE KAPPEL
CHIEF STRATEGY OFFICER (CSO)



Obrigado!
¡Gracias!



REALIZAÇÃO: