

PORTFÓLIO DETALHADO

Belo Horizonte - MG
2024



SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

Member of CISQ Federation



CERTIFIED MANAGEMENT SYSTEM
ISO 9001



POLÍTICA DE QUALIDADE

Fornecer serviços de engenharia com excelência, atendendo aos requisitos aplicáveis e em constante evolução do sistema de gestão da qualidade, em busca de se tornar referência técnica no mercado;

MISSÃO

Garantir a segurança, confiabilidade e disponibilidade dos ativos dos nossos clientes e atender de forma personalizada em busca da solução multidisciplinar e otimizada para os problemas dos nossos clientes e parceiros;

VISÃO

Ser reconhecida por nossos parceiros como a empresa referência em excelência técnica e atendimento;

VALORES

- Soluções tecnicamente embasadas e responsáveis;
- Assistência pessoal, direta e dedicada aos clientes;
- Integridade, transparência e honestidade;
- Capacitação e retenção de talentos;
- Segurança dos colaboradores e respeito ao meio ambiente.

SUMÁRIO

1. Apresentação	4
2. Gestão de qualidade técnica	6
3. Responsáveis técnicos	7
4. Referências técnicas	12
5. Estudo de casos similares - HRD	13
6. Estudo de casos	16
6.1 Análise estrutural	16
6.2 Análise via método dos elementos discretos [DEM]	46
6.3 Elaboração de modelos CAD 3D	53
6.4 Projetos mecânicos	58
6.5 Projetos estruturas metálicas	66
6.6 Análise experimental extensometria e vibração	75
6.7 Análise fluidodinâmica computacional [CFD]	79
6.8 Planos executivos e acompanhamento	86



APRESENTAÇÃO

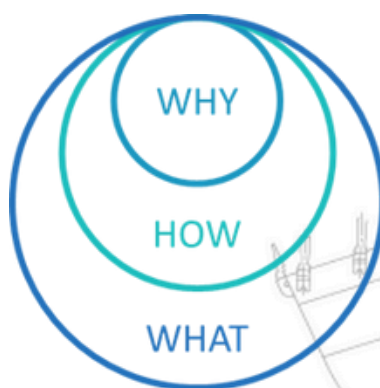
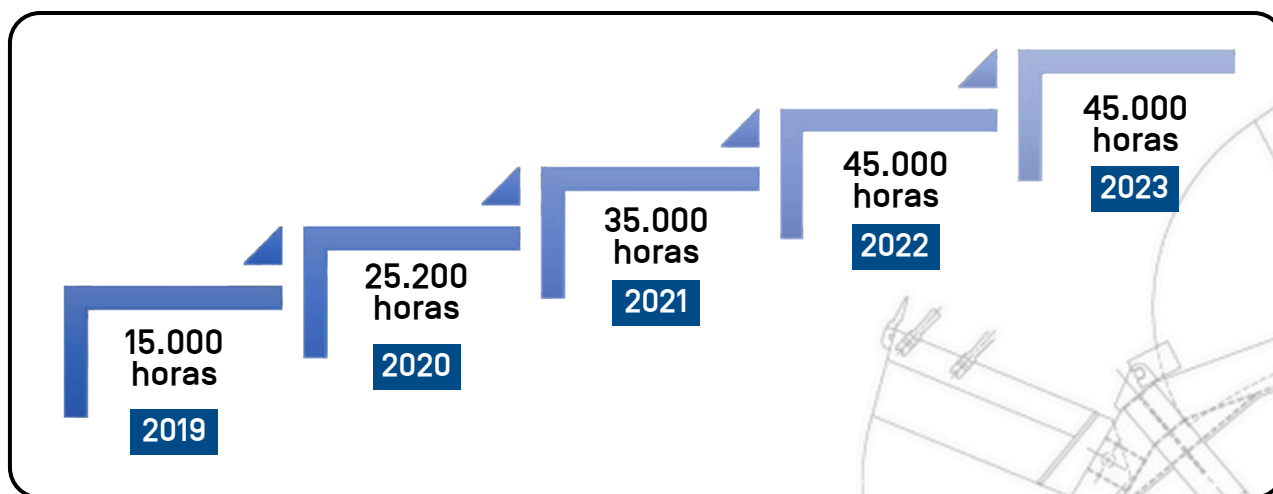
A HRD soluções de Engenharia acredita no auxílio aos clientes para aumentar a confiabilidade e disponibilidade de seus equipamentos e estruturas, aderindo aos critérios normativos e mitigando riscos de incidentes de forma eficiente.

Em um ambiente de trabalho cooperativo, fundado em 2018, nossa equipe é formada por engenheiros capacitados e multidisciplinares que trabalham com auxílio dos softwares e tecnologias mais atuais disponíveis no mercado, com atuação no mercado de consultoria e análise de engenharia mecânica e estrutural.

A competência e responsabilidade técnica de cada um dos sócios é um dos pilares de fundação da empresa.

Linha do tempo – Evolução HRD Engenharia:





POR QUÊ? Acredita-se no auxílio aos clientes para aumentar a confiabilidade e disponibilidade de seus equipamentos e estruturas, aderindo aos critérios normativos e mitigando riscos de incidentes de forma eficiente.

COMO? Em um ambiente de trabalho cooperativo, a equipe é formada por engenheiros capacitados e multidisciplinares que trabalham com o auxílio dos softwares e tecnologias mais atuais disponíveis no mercado.

O QUE? Com foco em consultoria e auditoria de projetos e manutenção de equipamentos e estruturas metálicas para o setor industrial, a HRD fornece soluções com custos acessíveis que possibilitam o aumento de lucratividade dos seus parceiros. Entre os ramos de atuação, destacam-se: Mineração, Portos e Siderurgia.

GESTÃO DE QUALIDADE TÉCNICA:

A HRD se orgulha profundamente de ser uma empresa certificada ISO 9001 em seu sistema de gestão da qualidade. Tal feito é um indicativo da dedicação e compromisso de todos os colaboradores da empresa com a qualidade.

A todo momento, almejamos tornar a HRD uma referência em excelência técnica no mercado. Seguimos em busca da melhoria contínua de nosso processo, garantindo a segurança e confiabilidade dos ativos dos nossos clientes e parceiros.

Certificado ISO 9001:2015



RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

- Renê Ferreira de Andrade:

Gerente de engenharia da HRD, responsável pela qualidade técnica dos serviços executados. Ensino superior em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), atua na área de consultoria em equipamentos mecânicos e estruturas metálicas desde 2007. Dentre os principais trabalhos executados podem se citar:

- Inspeção de máquinas de pátio para projeto de due diligence para aquisição da planta de porto desativado;
- Gestor do contrato com a Samarco Ubu (ES), análise estrutural e mecânica das máquinas de pátio e porto.
- Gestão técnica de contrato para análises mecânicas e estruturais de transportadores de correia da mina de Salobo, pertencente à Vale.
- Gestão técnica do contrato para análises das máquinas de pátio e de porto da Planta da Prumo Logística de Porto de Açu, em São João da Barra-RJ.
- Elaboração do projeto de vãos típicos de pontes ferroviárias de 25m e 35m para aplicação no projeto Ramal Ferroviário S11D, da Vale.
- Auditoria dos projetos das pontes ferroviárias dimensionadas para a duplicação da Estrada de Ferro Carajás, no projeto CLN-150 da VALE.
- Coordenação de análise de máquinas e transportadores durante a implantação da mina S11D, pertencente a Vale e situada na Serra dos Carajás PA.
- Gestão técnica do contrato na Mina de Ferro Carajás da VALE, com análises de máquinas de pátio, transportadores de correia e prédios de processos.
- Gestão técnica do contrato de análises estruturais para a Planta da Vale em São Luis-MA.
- Projeto de uma peneira rotativa [Trommel] para a Planta da Alcoa em Juruti PA.

- Projeto de transportador móvel para a Planta da Vale na Mina de Ferro Carajás.
- Projeto de uma recuperadora de pórtico para a planta da Vale em São Luis MA.

- Diego Correia Martins:

Gerente comercial da HRD, responsável por vendas e negociações e proposição de novos serviços. Ensino superior em Engenharia Mecânica pela UFMG, com pós graduação em Engenharia de Materiais e Integridade Estrutural pelo Instituto de Educação Continuada da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (IEC-PUC Minas) e aperfeiçoamento técnico em Mineração e Processamento Mineral pelo Instituto de Educação Tecnológica (IETEC), atua na área de consultoria em equipamentos mecânicos e estruturas metálicas desde 2010. Dentre os principais trabalhos executados podem-se citar:

- Inspeção de máquinas de porto para projeto de due diligence para aquisição da planta de porto desativado;
- Gestor técnico do contrato de análise estrutural e mecânica das máquinas de pátio da Usiminas na Usina de Ipatinga.
- Desenvolvimento de metodologia e sistema para análise de extensometria em máquinas e equipamentos.
- Gestão técnica do Programa de Conservação das Estruturas da MRN, com análises de máquinas de pátio, transportadores de correia e prédios de processos.
- Acompanhamento do processo de montagem e reparos de equipamentos portuários da MRN.
- Desenvolvimento de estrutura ROPS para caminhões e escavadeiras da mina da MRN em Porto Trombetas, PA.
- Análise de falha do pino do mastro de uma recuperadora de minério da MRN em Porto Trombetas, PA.
- Medições de acelerometria e desenvolvimento de análise dinâmica do peneiramento secundário da MRN em Porto Trombetas, PA.

- Medições de acelerometria e desenvolvimento de análise dinâmica do equipamento de britagem móvel (MSR) da mina do S11D da VALE;
- Análises técnicas desenvolvidas para seguradoras (ACE, Cunningham, Liberty) em sinistros.
- Análises de pontes ferroviárias utilizadas na duplicação da Estrada de Ferro Carajás, da VALE.
- Análise estrutural e projeto de reforços e reformas no carregador de navios no porto da MRN em Porto Trombetas, PA.
- Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de estabilidade de uma recuperadora no Terminal Portuário Ponta da Madeira, pertencente à VALE – São Luís – MA.
- Análise teórico experimental com base em técnicas extensométricas de componentes ferroviários na Estrada de Ferro Carajás.
- Desenvolvimento e aplicação de técnicas de extensometria em diversas aplicações industriais.
- Coordenação da conversão 2D para 3D dos arquivos de projetos de equipamentos portuários e de pátio da VALE – Vitória-ES e São Luís-MA.
- Projeto e desenvolvimento de bancada dinamométrica para motores de pequeno porte.

- Hugo Gatti Ladeia Costa

Gerente de desenvolvimento da HRD, responsável pelo desenvolvimento de novas ferramentas e metodologias de análise. Ensino superior em Engenharia Mecânica pela UFMG, atua na área de consultoria em equipamentos mecânicos e estruturas metálicas desde 2011. Dentre os principais trabalhos executados podem-se citar:

- Inspeção de máquinas de transportadores de correia e prédios industriais para projeto de due diligence para aquisição da planta de porto desativado;
- Desenvolvimento de ferramenta para cálculo analítico de perfis e ligações metálicas conforme norma AISC-360-2016.

- Gestão técnica do contrato na Mina de S11D, com análises de máquinas de pátio, máquinas de mina, transportadores de correia e prédios de processos.
- Acompanhamento do processo de montagem e reparos das pontes do Ramal Ferroviário S11D, da VALE.
- Coordenação de análise estrutural de transportadores de correia, prédios de processo e galpões na mina da Anglo American em Conceição do Mato Dentro.
- Desenvolvimento de estrutura ROPS e FOPS para caminhões fora de estrada da mina da Anglo American em Conceição do Mato Dentro. Página 7
- Análise de falha do eixo do britador cônico na mina da Anglo American em Conceição do Mato Dentro.
- Análise de falhas e projeto de sapatas de Crawlers de equipamentos de Mina.
- Medições de acelerometria e desenvolvimento de análise dinâmica do peneiramento primário da Gerdau em Ouro Branco - MG.
- Medições de acelerometria e desenvolvimento de análise dinâmica do equipamento de britagem móvel [MSR] da mina do S11D da VALE.
- Análises técnicas desenvolvidas para seguradoras (ACE, Cunningham, Liberty) em sinistros.
- Desenvolvimento, em conjunto com a Engenharia da VALE, de metodologia para dimensionamento e padronização dos tambores para as minas de S11D e Carajás.
- Coordenação de análises de pontes ferroviárias utilizadas na duplicação da Estrada de Ferro Carajás, da VALE.
- Coordenação de análises de viadutos rodoviários integrantes do projeto CLN 150 da VALE.
- Análise estrutural e projeto de reforços e reformas no carregador de navios na planta da Imerys em Barcarena - PA.
- Análise dinâmica da base de moinhos da planta de processamento da YAMANA GOLD em Alto Horizonte - GO.
- Análise dinâmica do prédio de britagem [MMD] da YAMANA GOLD em Alto Horizonte - GO;

- Análise estrutural e projeto de reformas no prédio de classificação da CSN, em Congonhas MG.
- Análise de falhas e projeto de sapatas de Crawlers de equipamentos de Mina.

- Ronaldo Lelis Santos

Gerente financeiro e supervisor técnico na HRD responsável pelo planejamento das atividades executadas. Ensino superior em Engenharia Mecânica pela UFMG e pós graduação em gestão de negócios pelo IBMEC. Atua na área de consultoria em equipamentos mecânicos e estruturas metálicas desde 2016. Dentre os principais trabalhos executados podem-se citar:

- Gestão financeira dos contratos com a Samarco Ubu [ES] e da Usiminas na Usina de Ipatinga;
- Responsável pela gestão de tributos, auditoria, controle das contas a pagar, controle das aplicações financeiras, controle dos saldos bancários, administração do fluxo de caixa e análise das demonstrações financeiras;
- Responsável pelo planejamento das atividades dos colaboradores, alocação de recursos e monitoramento do andamento das atividades;
- Gestão técnica do contrato para análises das máquinas de porto do porto de Praia Mole do complexo portuário de Tubarão, em Vitória, ES, pertencente à VLI;
- Análises de máquinas de pátio e prédios de processos e elaboração de procedimento e acompanhamento de instalação de reforços da Mina de Ferro Carajás no Pará, pertencente à VALE;
- Medições experimentais de deformação para calibragem de modelo numérico em elementos finitos de máquinas de pátio da Mina de Ferro Carajás no Pará, pertencente à VALE;
- Análise de um descarregador de navios com elevador de caçambas no porto do PECÉM em Fortaleza, CE pertencente à VLI;
- Análise de um carregador de navios no terminal portuário de São Luiz, MA pertencente à VLI.

REFERÊNCIAS TÉCNICAS



ArcelorMittal

Lucas Bernardes [Vitória]
lucas.duarte@arcelormittal.com.br
[27] 99229-0157



ArcelorMittal

Marcelo Euclides de Souza [Vitória]
marcelo.e.souza@arcelormittal.com.br
[27] 99244-5787



ARCADIS

Fábio Parussolo [SLZ]
fabio.parussolo@arcadis.com
[98] 99118-2133



Hydro

Tatianne Kádia Ribeiro da Silva
tatianne.silva@hydro.com
[84] 99605-9130



LIASA

Fernando Patrus [Diretor]
fernando@liasa.com.br
[31] 3249-2000



LIASA

Roger Benatti
roger.benatti@liasa.com.br
[31] 3249-2064



ERO

Richard Martins Araújo
richard.araujo@minacaraiba.com
[74] 3532-8387



SAMARCO

Cosme Gil Fernandes De Carvalho
gil@samarco.com
[28] 99275-4692



SAMARCO

Adriano Eber Da Silva
adriano.silva@samarco.com
[27] 98819-8375



VALE

Vinícius Donizetti [Portos]
vinicius.donizetti@vale.com
[27] 98125-2859



VALE

Wagner Kameyama [Carajás]
wagner.kameyama@vale.com
[12] 98119-1868



VALE

Devanir Silva [Portos]
devanir.silva@vale.com
[27] 99589-8888



MRN

Heber Martins de Moraes
heber.moraes@mrn.com.br
[93] 3549 7807



MRN

Alexandre Teixeira
alexandre.teixeira@mrn.com.br
[93] 3549-7807



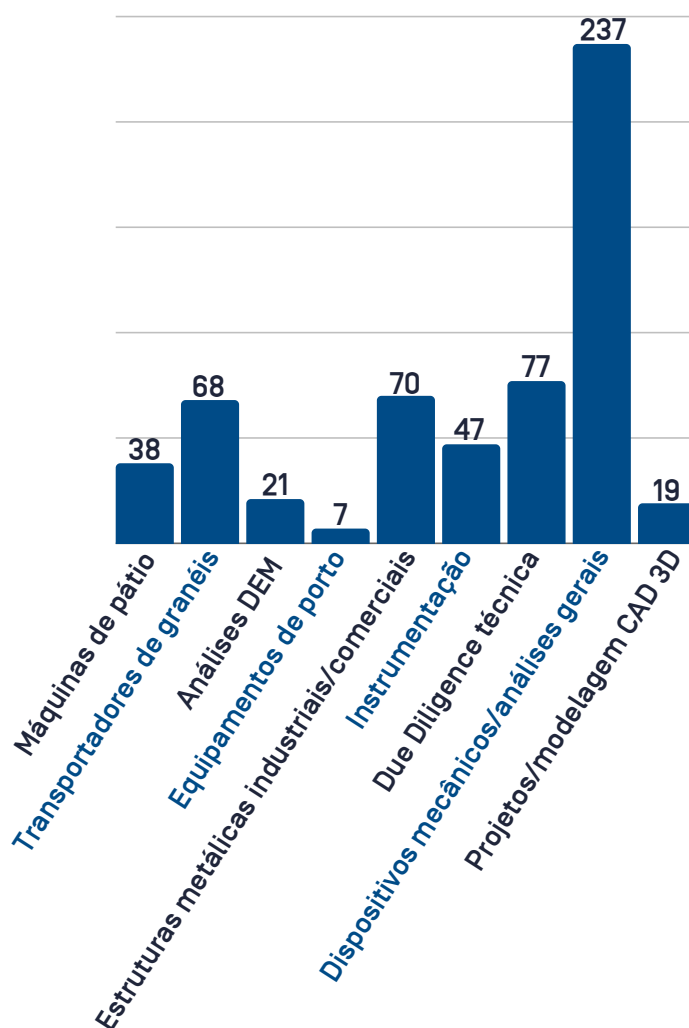
LLK ENGENHARIA PARA INOVAÇÃO

Luiz Henrique [Diretor]
luiz.henrique@llk.com.br
[31] 98462-9389

ESTUDOS DE CASOS SIMILARES - HRD

Com atuação no mercado de consultoria e análise de engenharia mecânica e estrutural a partir do final de 2018, a HRD apresenta em seu portfólio uma gama de equipamentos e estruturas que vão ao encontro dos serviços propostos neste documento, incluindo máquinas de pátio e porto e transportadores de correia. A seguir são apresentados os números dos serviços concluídos pela empresa.

Equipamentos analisados



CONTRATOS DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL ATIVOS

Desempenho operacional de equipamentos

 Cliente	 Local de execução	 Prazo	 Quantitativo de serviços
 Alcoa	Juruti - PA	24 meses	29.000
 Hydro	Paragominas - PA	12 meses	10.000
 MRN	Porto Trombetas - PA	60 meses	28.000
 MRN	Porto Trombetas - PA	24 meses	16.000
 SAMARCO	Ubu - ES	72 meses	30.000
 ArcelorMittal	Vitória - ES	24 meses	9.000
 ARCADIS	Vale - MA	24 meses	22.000

HRD EM NÚMEROS



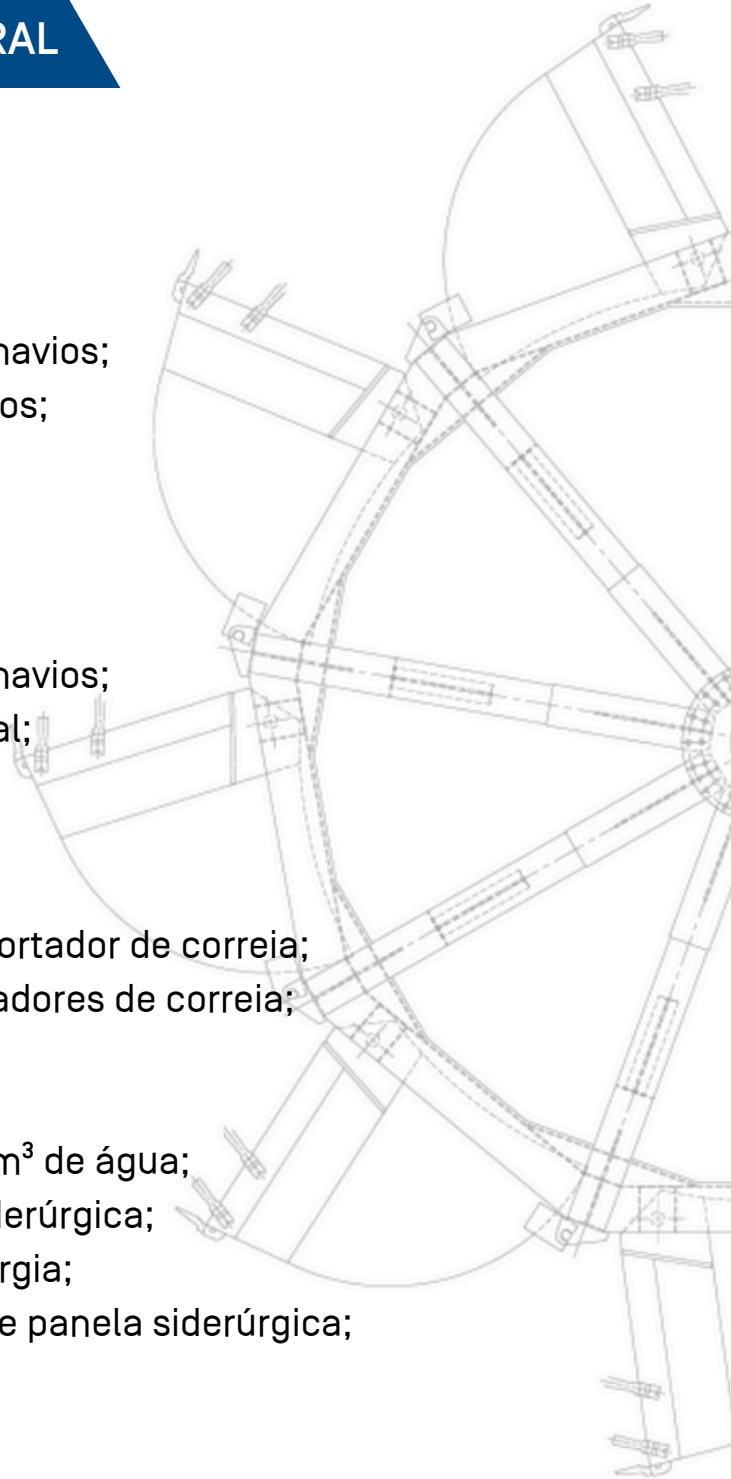
62
Clientes Atendidos e Satisfeitos

+165 MIL
Horas de Engenharia Executadas

5
Anos de Atividade

ESTUDOS DE CASOS - ANÁLISE ESTRUTURAL

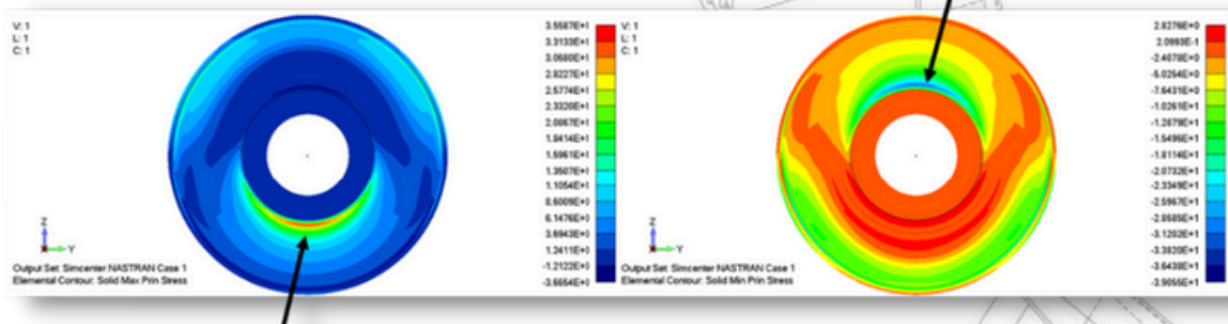
- Tambor de transportador de correia;
- Máquina de pátio: empilhadeira;
- Máquina de pátio: virador de vagões;
- Máquina de porto: descarregador de navios;
- Máquina de porto: carregador de navios;
- Transportador de correia curvo;
- Trincas no britador de mandíbula;
- Máquinas de pátio: Recuperadora;
- Máquinas de pátio: Recuperadora;
- Máquina de porto: descarregador de navios;
- Transportador de correia convencional;
- Prédio de processos;
- Píer de concreto armado;
- Carenagem de carro amostrador;
- Cavalete autoalinhante de um transportador de correia;
- Levantador de correia para transportadores de correia;
- Gaiola pneus fora de estrada;
- Moega de descarregador de navio;
- Tanque de armazenamento de 8000 m³ de água;
- Análise termoestrutural de panela siderúrgica;
- Reforço da sapata – Galpão de Siderurgia;
- Avaliação de recortes em fundação de panela siderúrgica;
- Projeto dos contrapesos de concreto.



TAMBOR DE TRANSPORTADOR DE CORREIA

- Motivação da análise: Verificação e memorial de cálculo do tambor de acionamento a ser implantado em um complexo minerário.
- Desenvolvimento: Cálculo e aplicação de cargas segundo especificações técnicas do cliente final e verificação da vida útil (fadiga) segundo critérios da IIW- [equipamentos rotativos – “very high cycle”].
- Resultados alcançados: Reprovação e reprojeito da solda entre o cubo e espelho do tambor e do anel de expansão originalmente especificado.

Análise de tensões – Solda do cubo e disco lateral



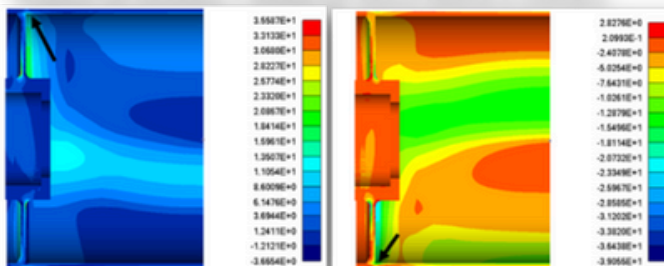
Análise da solda entre o cubo e o disco lateral.

$$\Delta\sigma = 74,65 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{admissivel} = 55,10 \text{ MPa}$$

Fator de segurança < 1,00
Solda **reprovada**

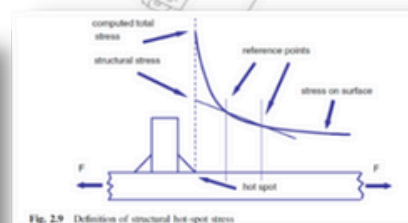
Análise de tensões – Solda do disco lateral e cilindro



Análise “hot spot” da solda entre o disco lateral e o cilindro.

$$\Delta\sigma_{admissivel} = 49,18 \text{ MPa}$$

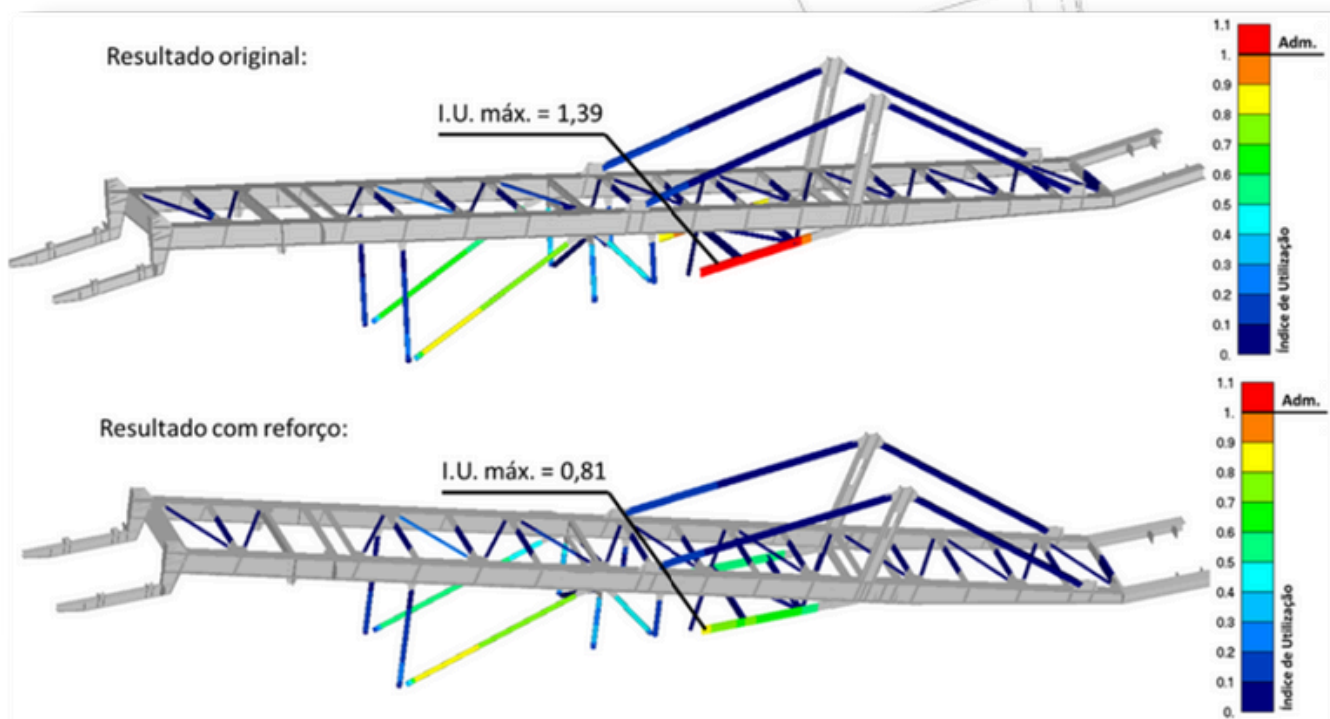
Fator de segurança = 1,74
Solda **aprovada**



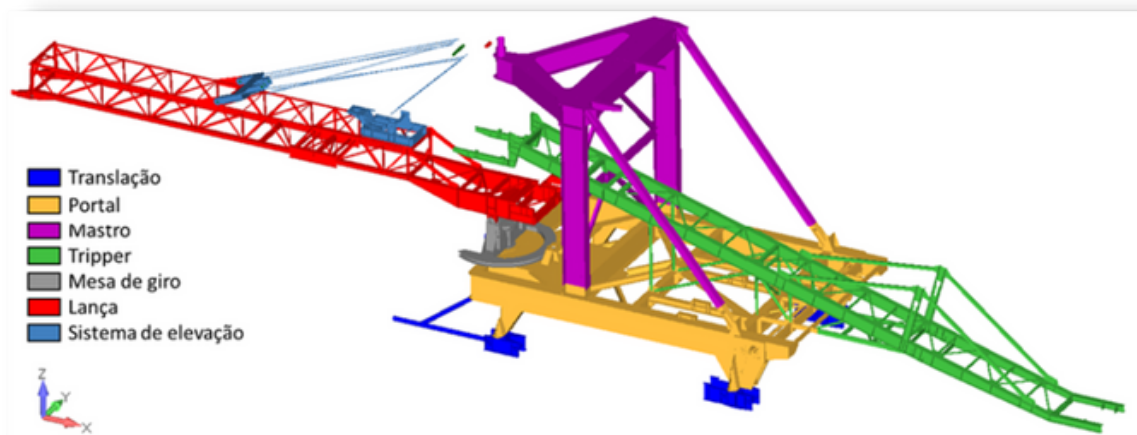
Tensões atuantes - Solda disco lateral e cilindro		
Tensão	Ext_max	Ext_min
S_0,4 t	13,0	-9,6
S_0,9 t	8,9	-7,6
S_1,4 t	5,9	-5,6
S_hs	17,1	-11,2
$\Delta\sigma$	28,3 MPa	

MÁQUINAS DE PÁTIO: EMPILHADEIRA

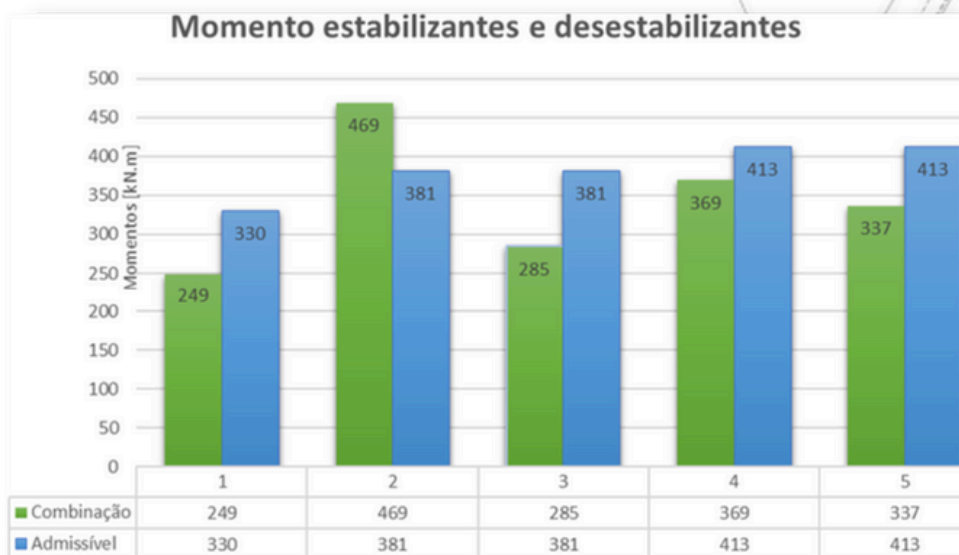
- Motivação da análise: Máquina antiga chegando ao fim da vida útil esperada – avaliação da viabilidade de continuação segura de operação.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme norma FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Identificado risco de estabilidade da máquina e necessidade de evitar acúmulo de material sobre a lança. Aumento de segurança e confiabilidade com a instalação de reforço no apoio do tripper.



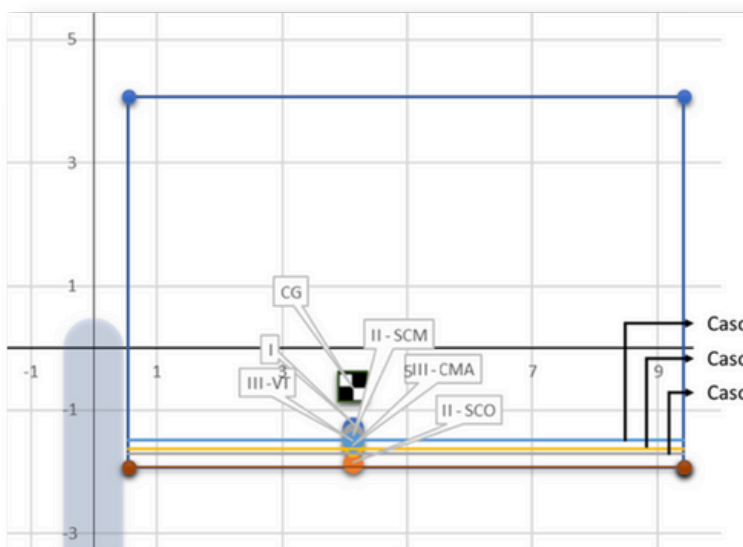
Constatação da melhora da condição estática da região reforçada do tripper.



Modelo em elementos finitos desenvolvido para realização das análises.



Resultado gráfico da análise de estabilidade global e riscos de tombamento.

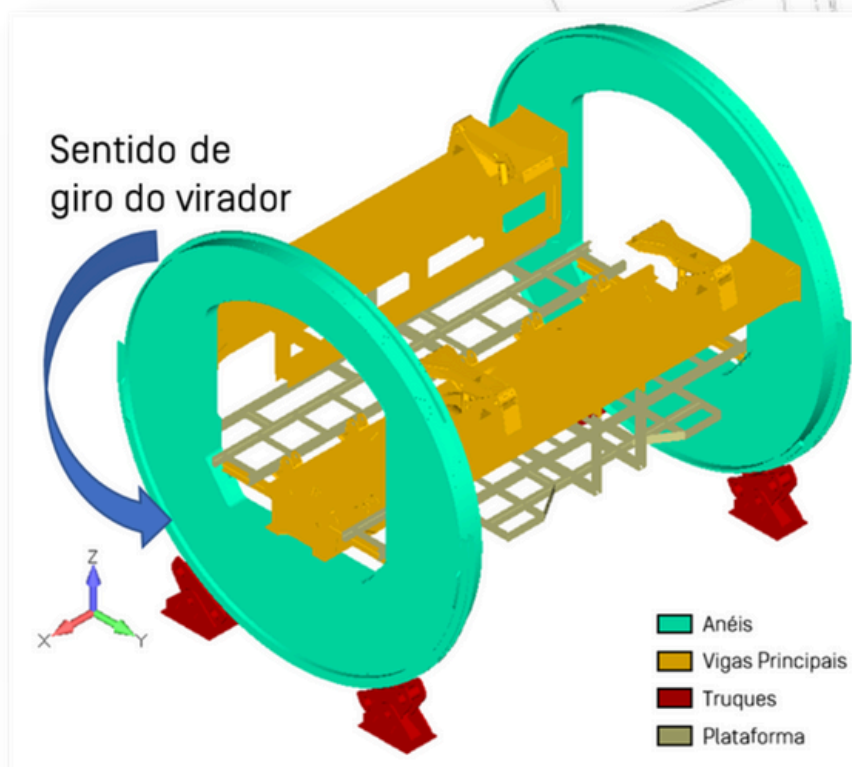


Resultado ilustrativo da análise de estabilidade global e riscos de tombamento.

Caso I (F.S = 1,50)
Caso I (F.S = 1,33)
Caso I (F.S = 1,20)

MÁQUINAS DE PÁTIO: VIRADOR DE VAGÕES

- Motivação da análise: Projeto de levantamento de riscos e não conformidades de ativos para aumento de confiabilidade e segurança operacional.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme norma FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Redimensionamento do conjunto de acionamento e frenagem para adequação às condições operacionais atuais do equipamento. Novo projeto do eixo do pinhão que apresentava falhas sucessivas e prematuras.



Modelo numérico desenvolvido para as análises.

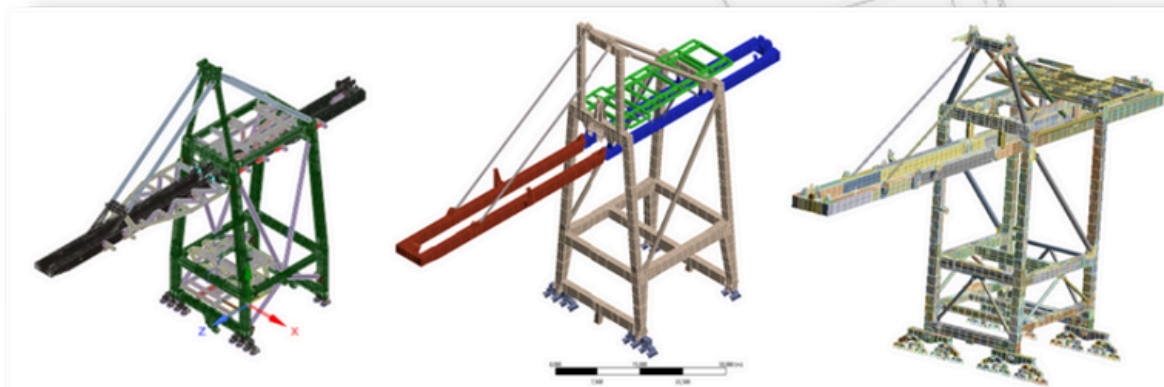


para o sistema de giro.

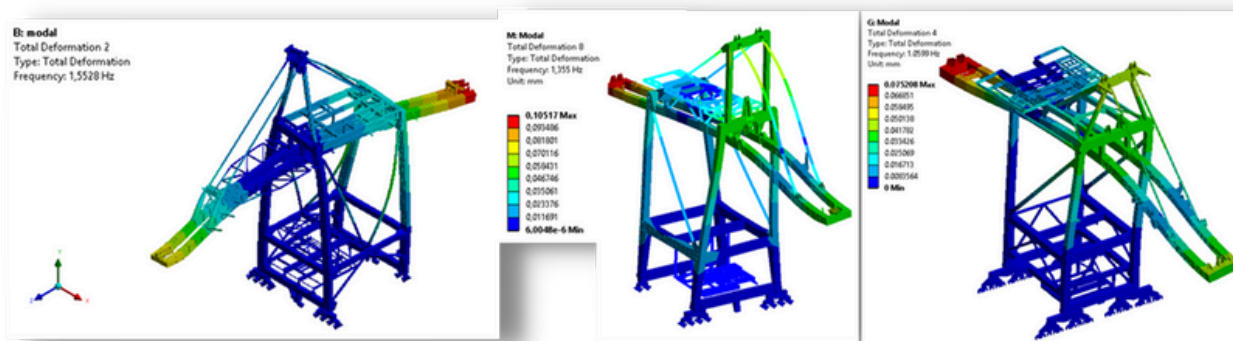


MÁQUINAS DE PORTO: DESCARREGADOR DE NAVIOS

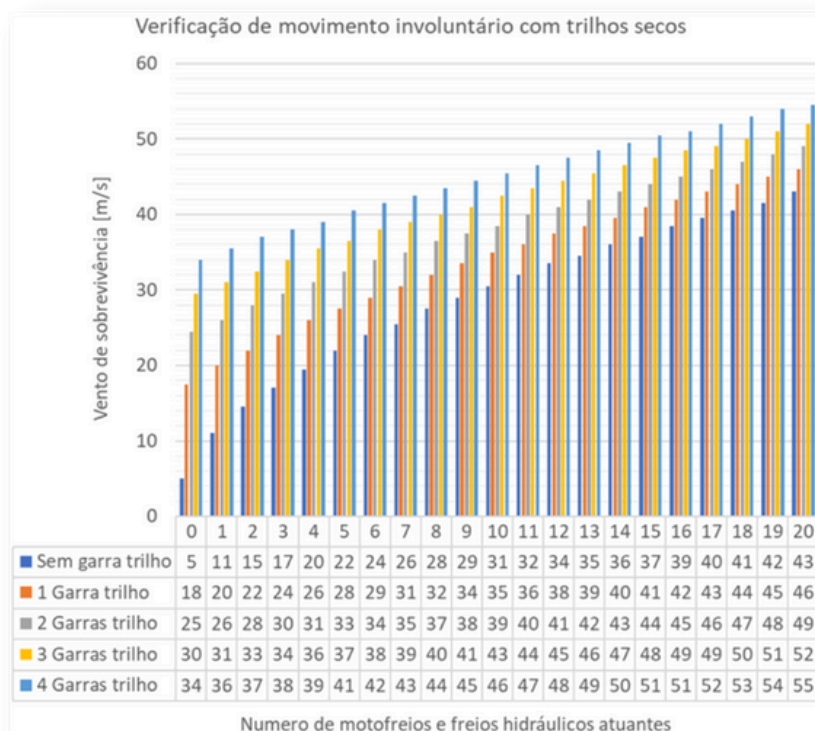
- Motivação da análise: Avaliação da influência do vento no equipamento devido à instalação de wind fences agregada à análise estrutural e mecânica completa da máquina.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme FEM 1.001, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208, AS 3774 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Aumento da confiabilidade e disponibilidade do equipamento e recomendações operacionais em condições de ventos fortes.



Modelo em elementos finitos dos descarregadores analisados.

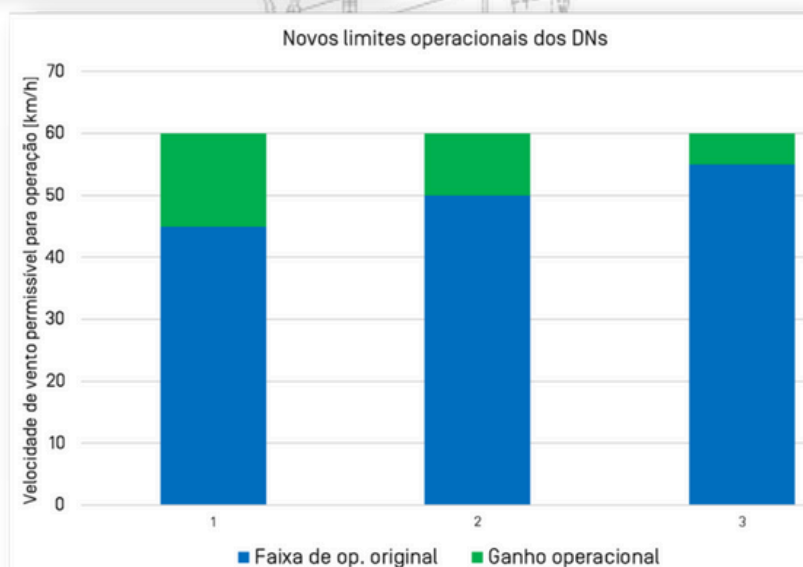


Análise dinâmica [modal] dos descarregadores de navios.

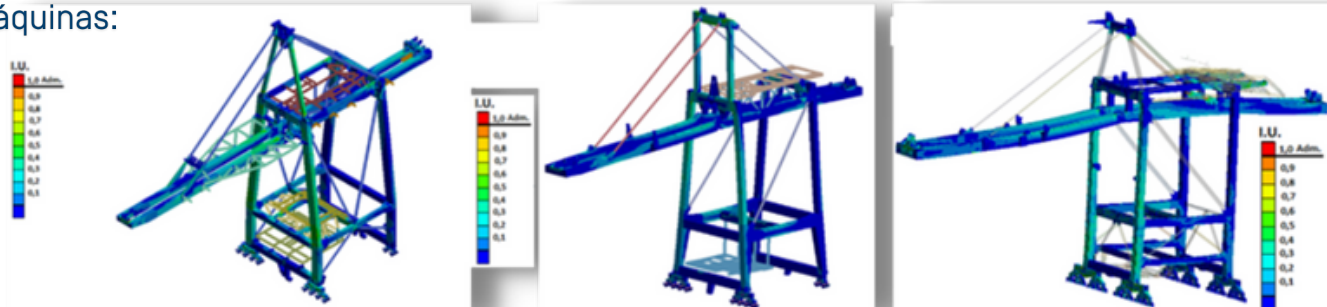


Análise do sistema de frenagem [velocidade de sobrevivência] de um dos descarregadores.

Ganho operacional com novos limites de operação sobre ventos fortes.

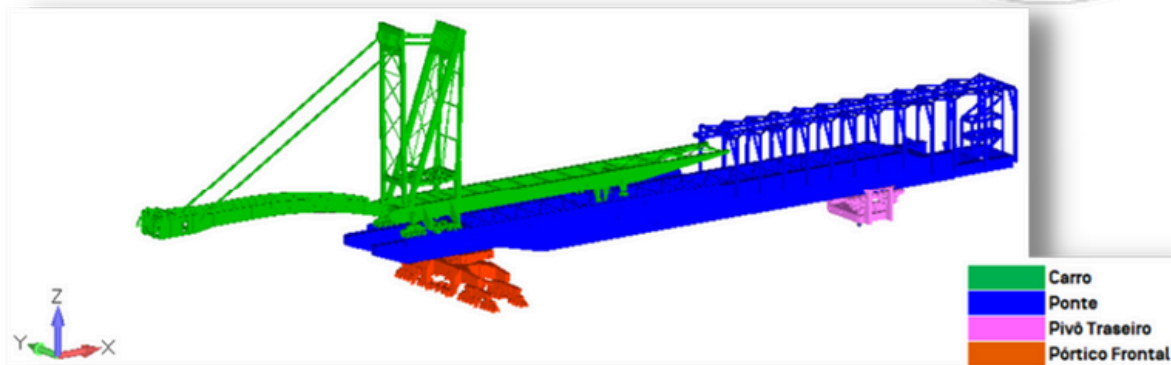


Análise de tensões das máquinas:

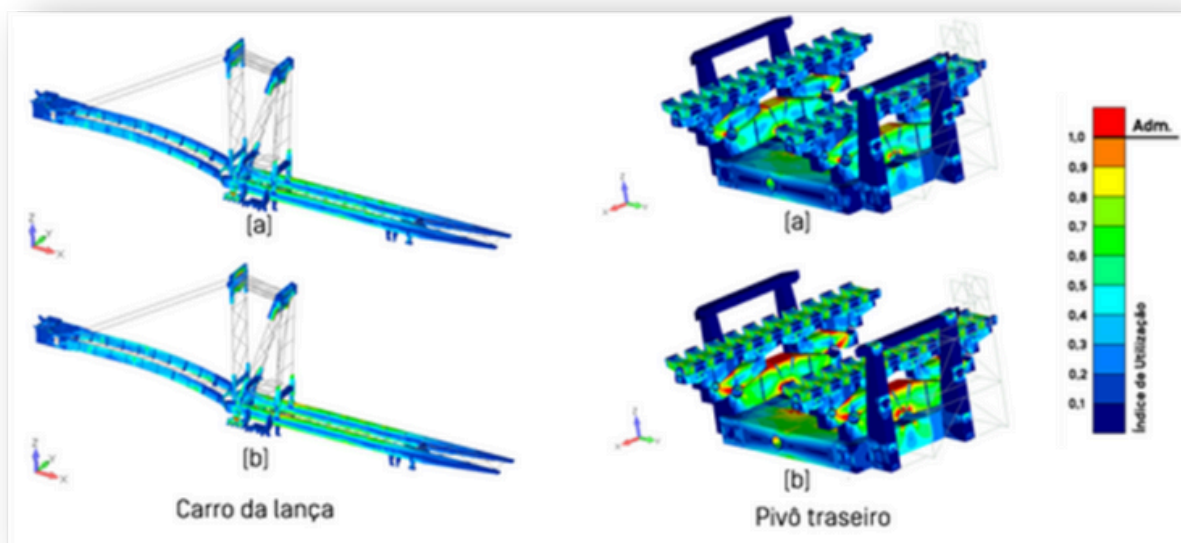


MÁQUINAS DE PORTO: CARREGADOR DE NAVIOS

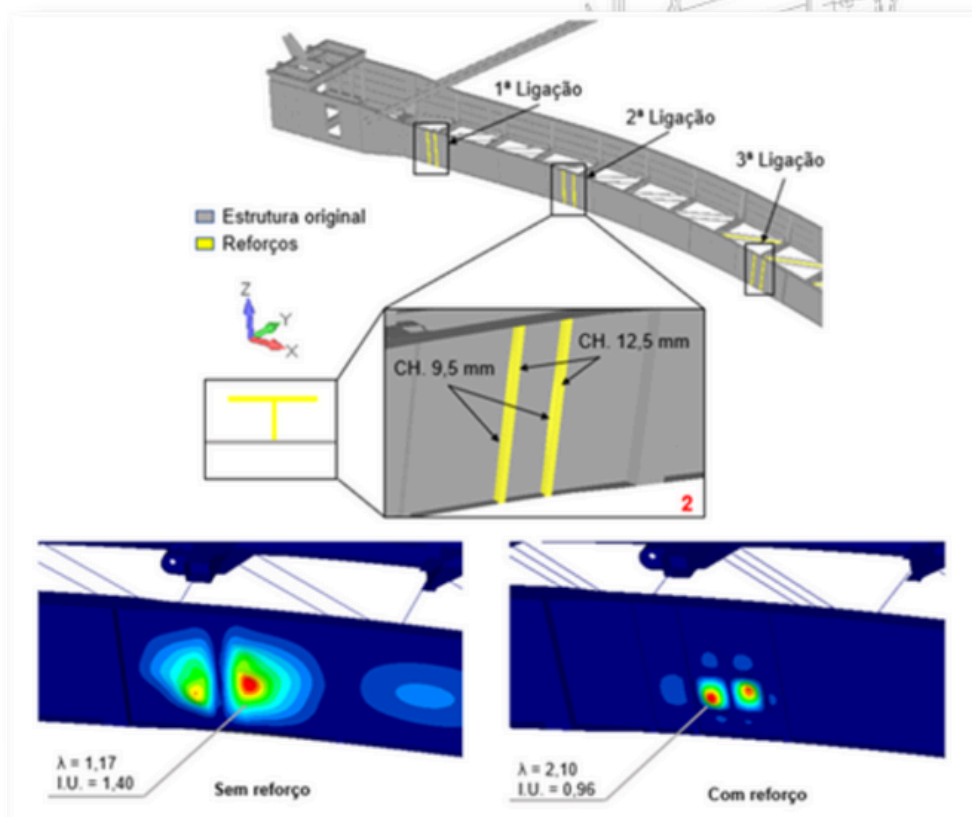
- Motivação da análise: Necessidade da instalação de calhas coletoras sob a estrutura do carregador de navios para evitar incrustação no equipamento e queda de material no mar, sem prejudicar a integridade estrutural e operacional de seus sistemas mecânicos. Verificação estrutural e mecânica do carregador de navios devido à adição de calhas coletoras de material para viabilização da sua instalação e assim, eliminar a queda de material.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme normas FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208 e EN-1993-1-9, do carregador com e sem a instalação das calhas, além da apresentação dos resultados comparativos e propostas de melhoria.
- Resultados alcançados: Identificação dos pontos críticos do carregador de navios devido à inclusão da calha e indicação de ações requeridas para viabilizar sua instalação, como plano de inspeções e reforços estruturais. Assim, foi garantida a integridade estrutural e adequação mecânica, melhorando sua eficiência operacional ao passo que se mitigou a queda de material, reduzindo de forma significativa os danos ambientais.



Modelo em elementos finitos da estrutura completa.



Resultado de índices de utilização para o carro da lança e o pivô traseiro do CN (Caso II) – (a) sem calha; (b) com calha.

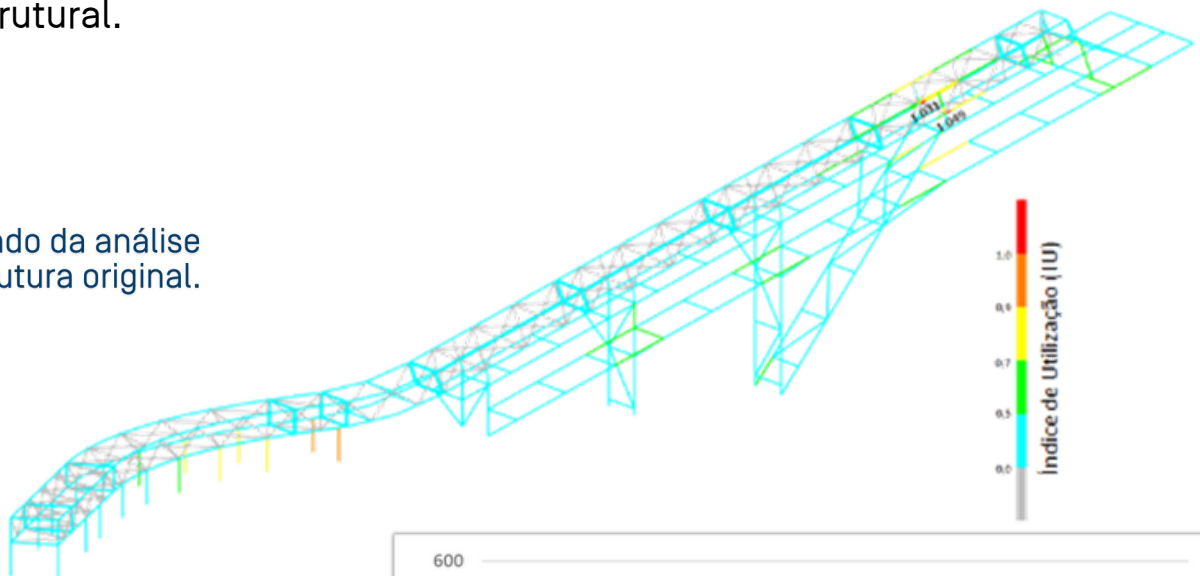


Detalhes dos reforços nos banzos da lança – Análise de flambagem por autovalor.

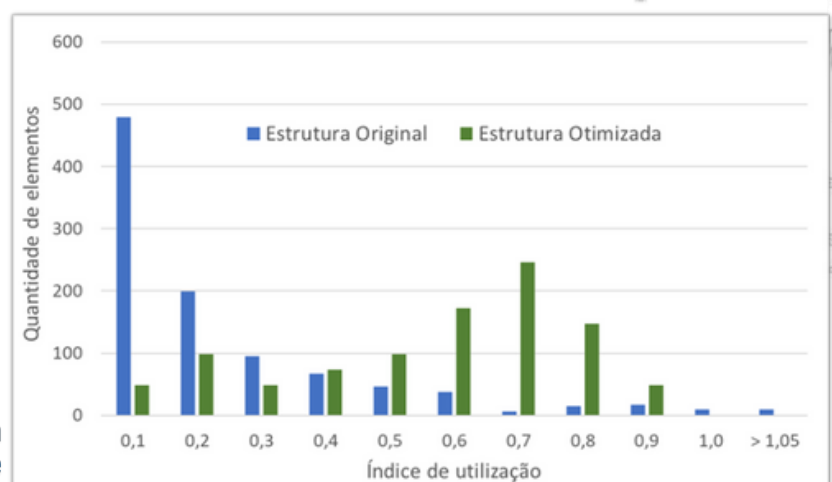
TRANSPORTADOR DE CORREIA CURVO

- Motivação da análise: Adequação do projeto produto novo a ser lançado no mercado aos critérios de dimensionamento estrutural das normas relevantes
- Desenvolvimento: Cálculo, aplicação de cargas e verificação segundo critérios da NBR 6123 [vento] AISC-360-16 [perfis laminados e soldados], AISE-96 [perfis formados a frio] e NBR 8800 [ligações]
- Resultados alcançados: Otimização estrutural do equipamento com redução de 32% de peso e maior confiabilidade em sua integridade estrutural.

Resultado da análise da estrutura original.



Otimização da estrutura alcançada com a análise



TRINCAS NO BRITADOR DE MANDÍBULA

- Motivação da análise: Detecção de trincas recorrentes na carcaça do britador de mandíbula levando à indisponibilidade e ao sucateamento do equipamento, apontou a necessidade de auditoria técnica do projeto.
- Desenvolvimento: Levantamento das causas prováveis da falha, elaboração de modelo em elementos finitos do britador, calibração de modelo a partir de ensaios de campo [acelerometria e extensometria], análise de fadiga conforme IIW-2259-15, análise de mecânica da fratura.
- Resultados alcançados: Determinação de causa raiz das falhas e proposição de modificações no projeto original para eliminar esta causa de trincas prematuras e estender a vida em fadiga da estrutura.

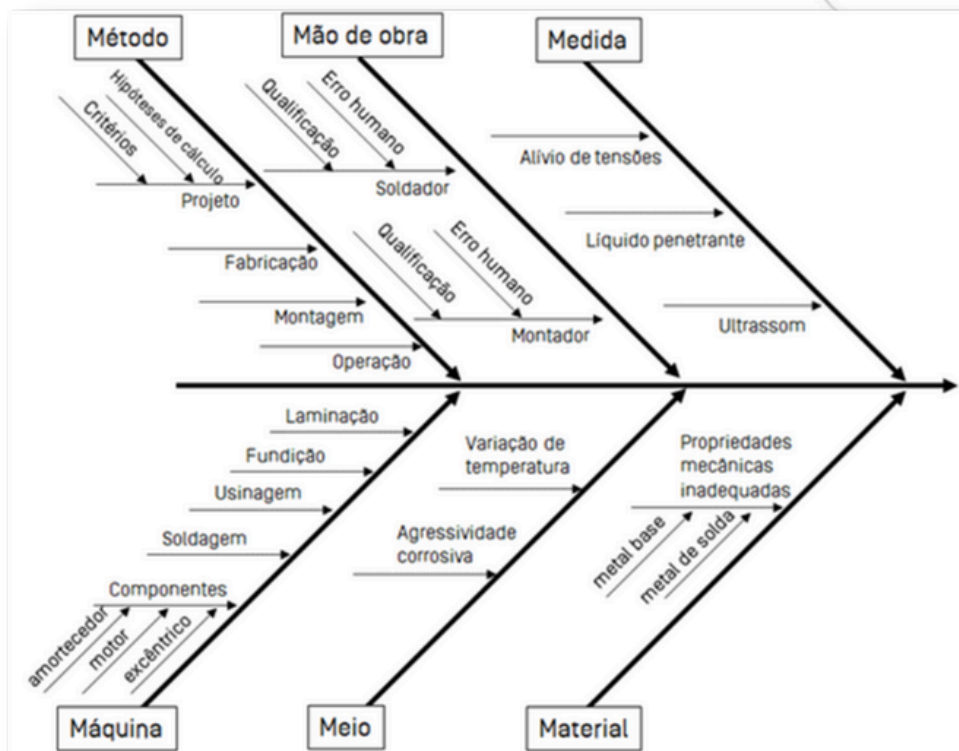
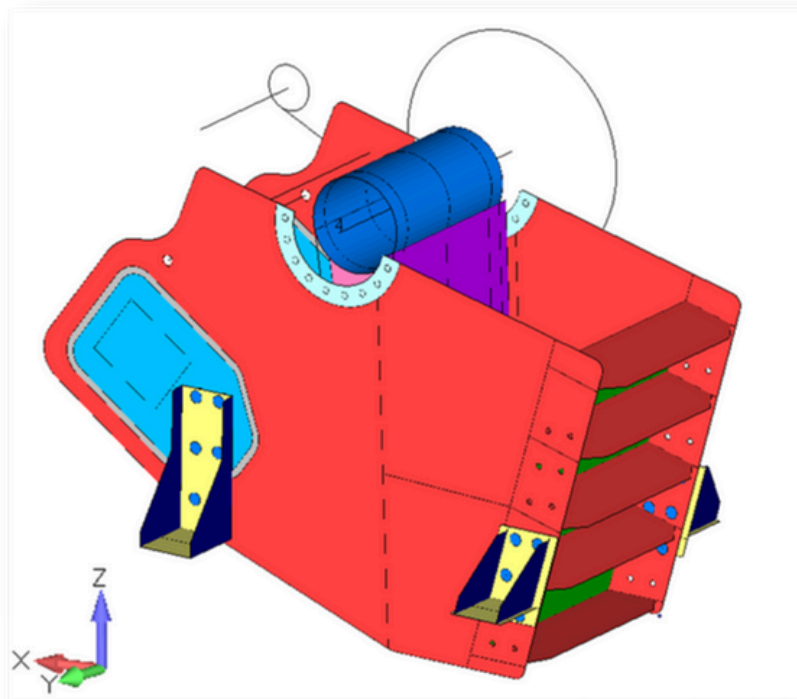
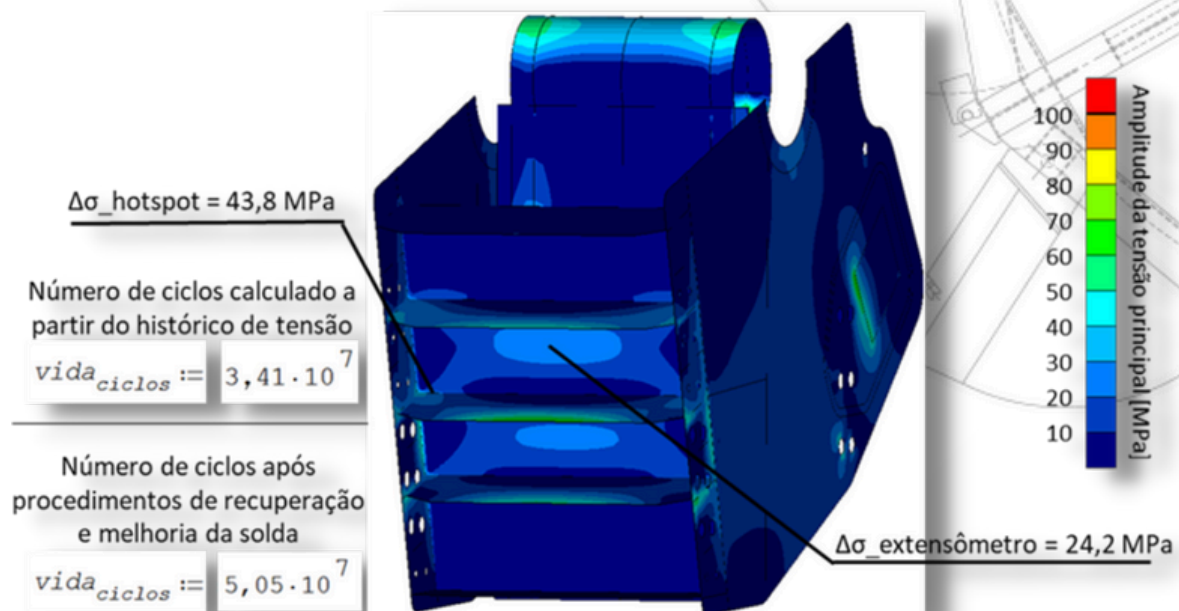


Diagrama espinha de peixe – levantamento de hipóteses de causa da falha.



Modelo em elementos finitos do britador de mandíbula.

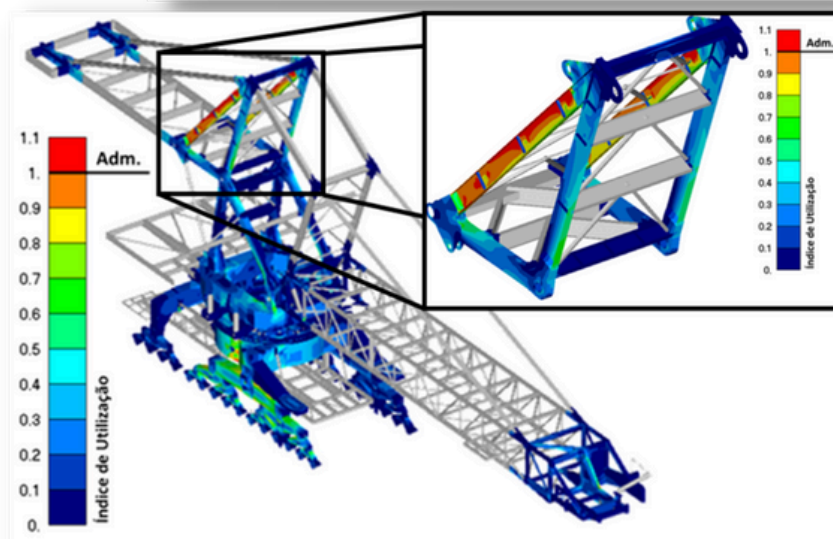
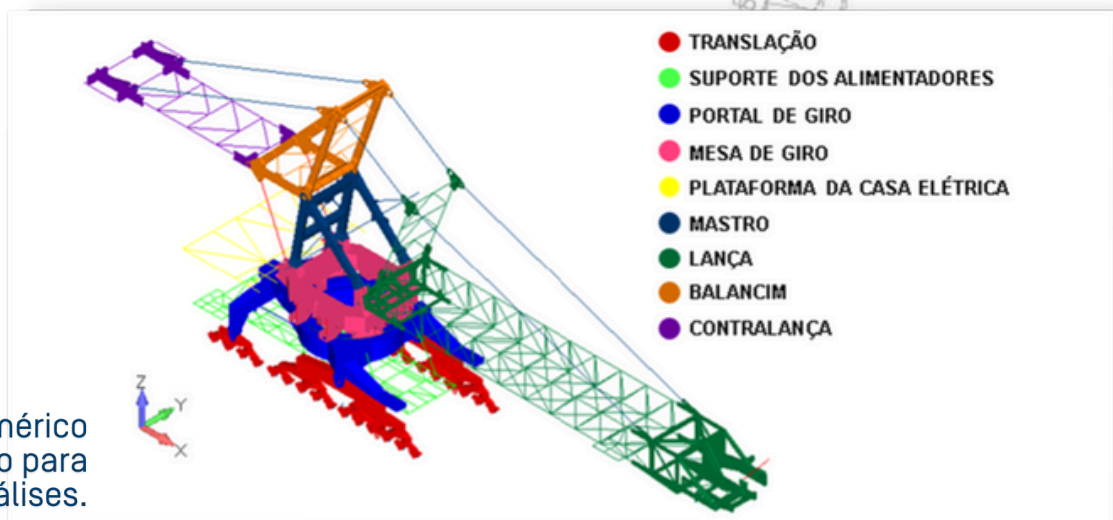


Variação de tensão de fadiga calculada por hot-spot – Vida esperada em ciclos antes e depois dos procedimentos recomendados.

MÁQUINAS DE PÁTIO: RECUPERADORA

- Motivação da análise: Averiguar conformidade estrutural e mecânica da máquina para retomada de operação segura.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme norma FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Identificadas duas condições críticas para a integridade estrutural da máquina com plano de resposta e monitoramento para mitigação de riscos.

Modelo numérico desenvolvido para as análises.

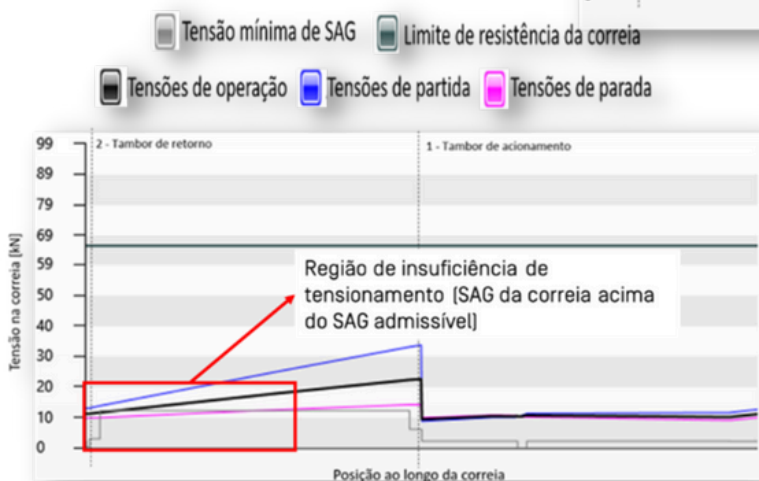
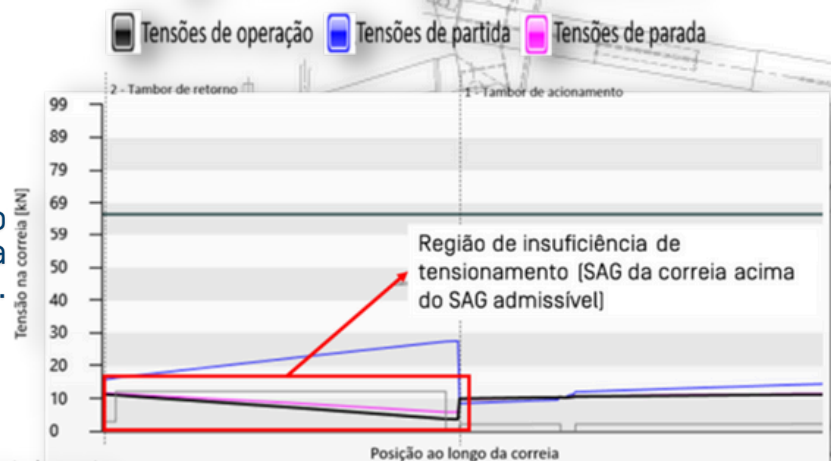


Resultado crítico da análise de tensões identificado para a estrutura.

MÁQUINAS DE PÁTIO: RECUPERADORA

- Motivação da análise: Projeto de levantamento de riscos e não conformidades de ativos para aumento de confiabilidade e segurança operacional.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme norma FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Aumento do contrapeso de esticamento para redução da flecha na correia, aumentando sua vida útil

Tensão na correia ao longo do transportador da lança para a elevação de 10°.



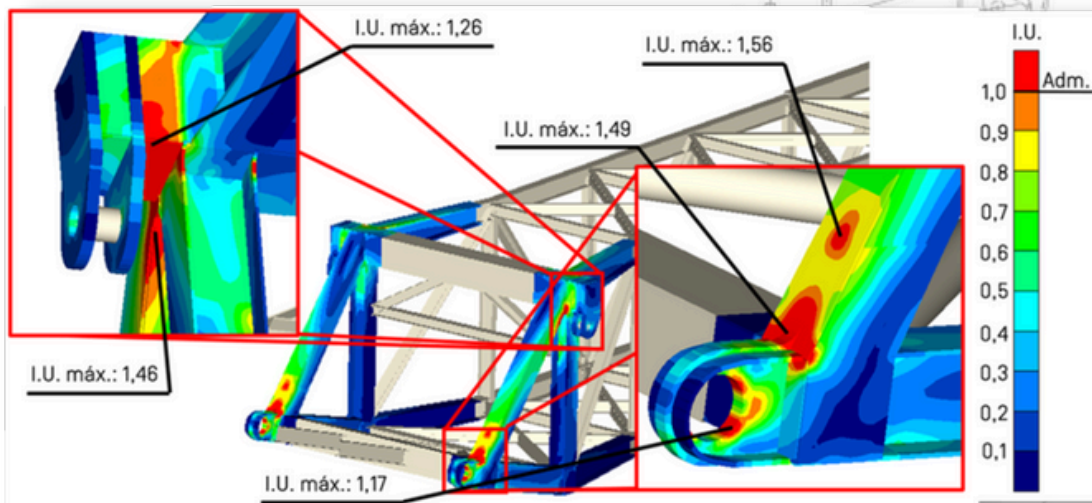
Tensão na correia ao longo do transportador da lança para a elevação de -9°.

Modelo do transportador de correia.



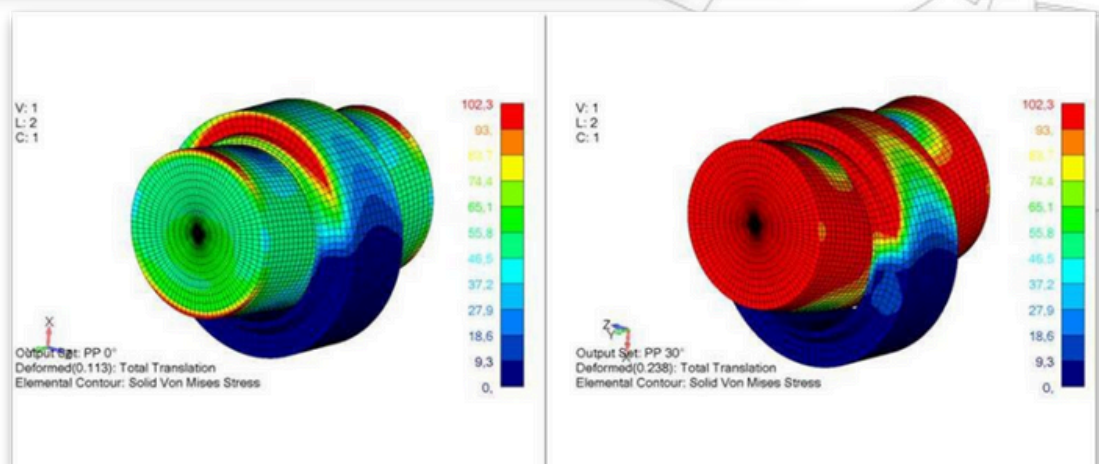
MÁQUINAS DE PORTO: DESCARREGADOR DE NAVIOS

- Motivação da análise: Requisitado laudo técnico validando não conformidade das ligações da lança do descarregador, com histórico de falha em campo.
- Desenvolvimento: Verificação com base nas normas FEM Section II, AISC 360-16, NBR8800 e DNVGL-RP-C208.
- Resultados alcançados: Validada não conformidade na estrutura do descarregador, nas ligações da lança e nas pressões atuantes no cilindro de elevação da lança.



Resultado da análise estática de tensões da estrutura do descarregador.

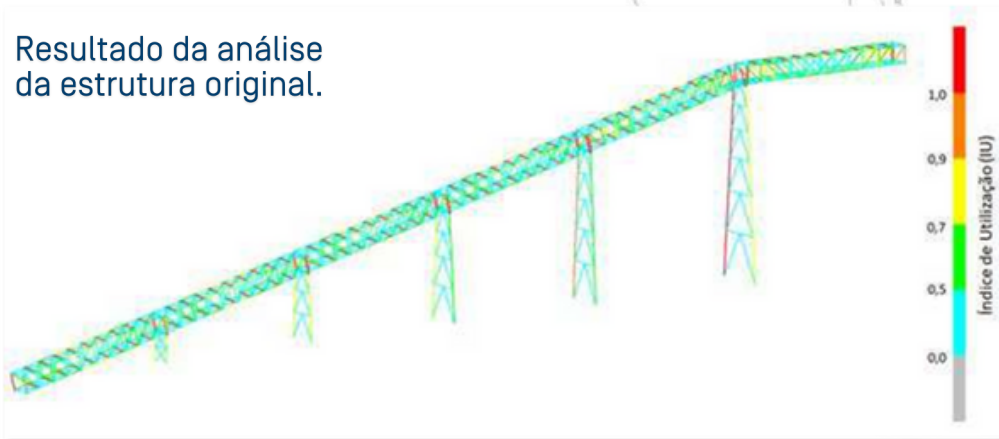
Resultado da análise numérica da ligação para a condição de operação normal (esquerda) e descarregador em posição de by-pass (direita).



TRANSPORTADOR DE CORREIA CONVENCIONAL

- Motivação da análise: Avaliação da condição estrutural dos transportadores com a implantação de tapamento lateral em toda sua extensão.
- Desenvolvimento: Cálculo, aplicação de cargas e verificação segundo critérios da NBR 6123 [vento] AISC-360-16 [perfis laminados e soldados] e NBR 8800 [ligações], além de especificações internas do cliente.
- Resultados alcançados: Estrutura não adequada para receber os acréscimos de carregamentos de vento devido ao tapamento total do equipamento e a inclusão da calha ao longo do transportador, além de identificado risco de acoplamento modal.

Resultado da análise da estrutura original.

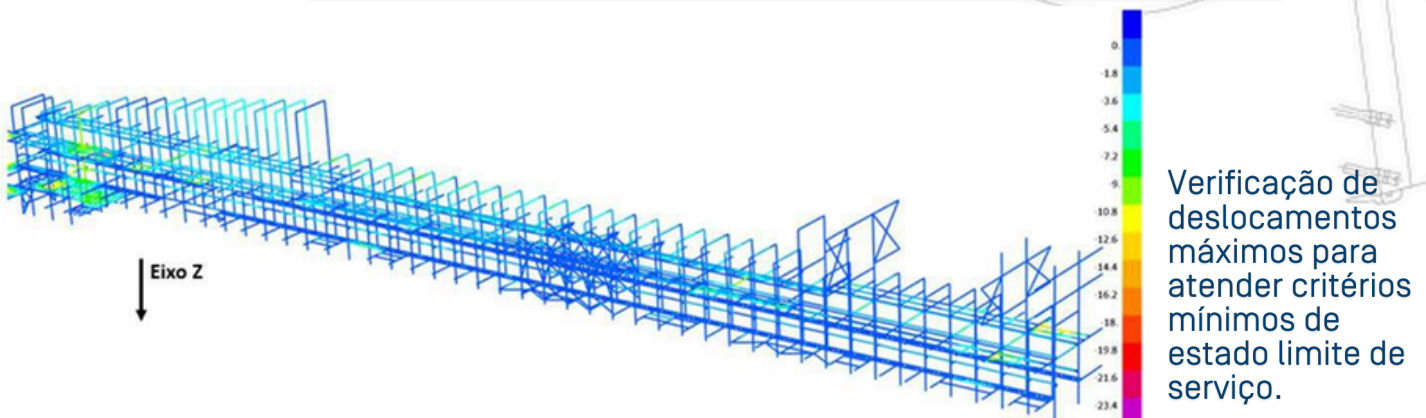
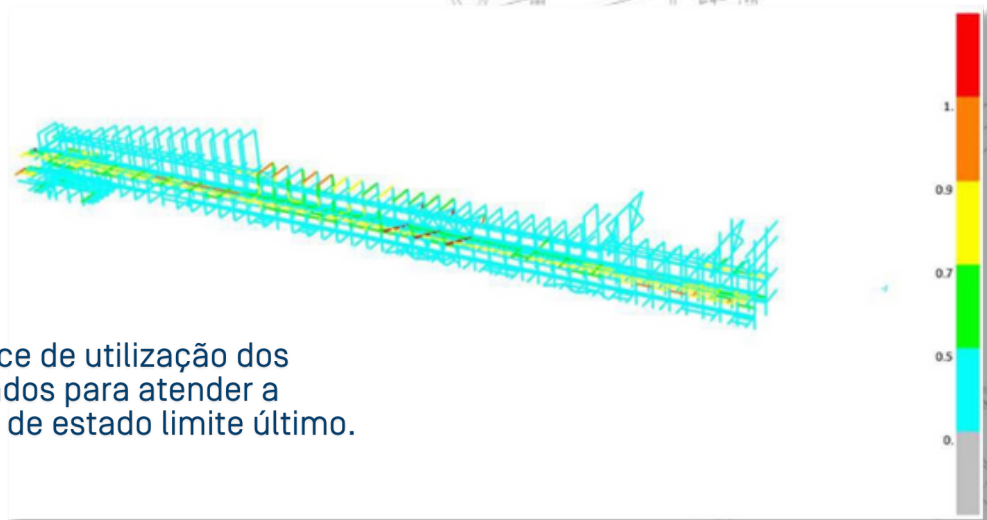


Frequência natural com alto risco de acoplamento com a excitação dos roletes identificada na análise modal.

PRÉDIO DE PROCESSOS

- Motivação da análise: Avaliação de integridade e adequação normativa de prédios de fornos de pelotização para retomada segura da operação.
- Desenvolvimento: Cálculo, aplicação de cargas e verificação segundo critérios da NBR 6123(vento) AISC-360-16 [perfis laminados e soldados] e NBR8800 [ligações], além de especificações internas do cliente.
- Resultados alcançados: Estrutura aprovada para retomada de operação após realinhamento do caminho de rolamento do carro grelha, que apresentou desalinhamento excessivo em ensaio topográfico.

Verificação e índice de utilização dos elementos perfilados para atender a critérios mínimos de estado limite último.

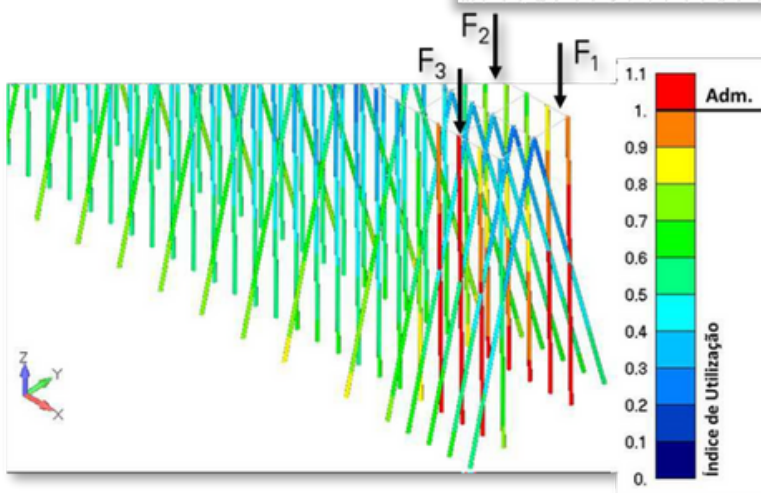
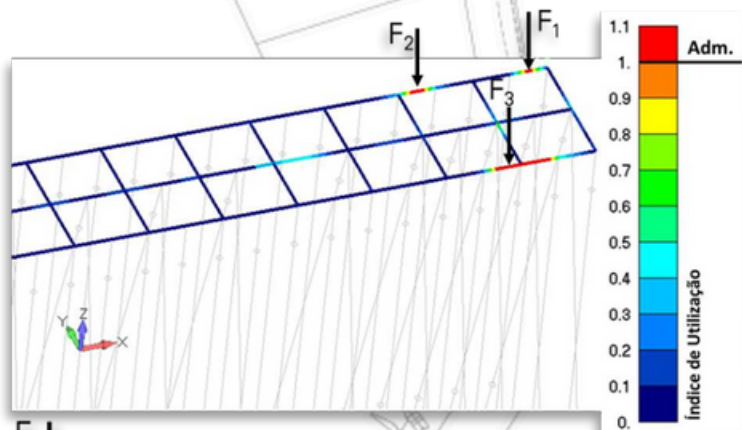


Verificação de deslocamentos máximos para atender critérios mínimos de estado limite de serviço.

PÍER DE CONCRETO ARMADO

- Motivação da análise: Avaliação da possibilidade de pesagem de carregador de navios [sem risco à integridade estrutural do píer] e melhor posição no píer para a operação.
- Desenvolvimento: Identificação de região de maior resistência da estrutura do píer e aplicadas cargas esperadas em cada ponto de macaqueamento durante pesagem. Estrutura de concreto verificada com base nos momentos fletores máximos.
- Resultados alcançados: Possibilidade de pesagem seguindo métodos tradicionais descartada por insuficiência da estrutura do píer.

Resultado de I.U. das vigas na região de maior resistência.

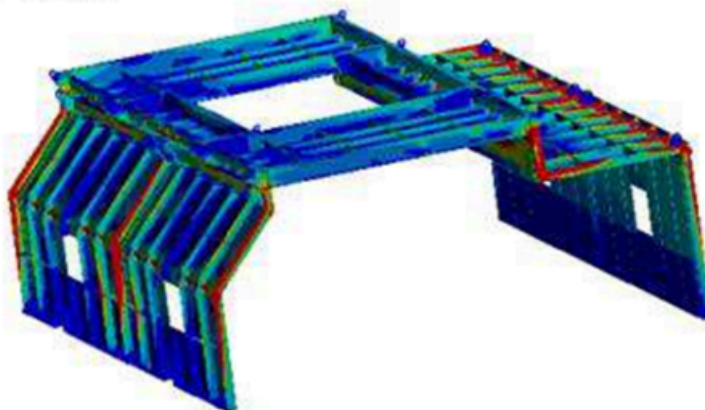
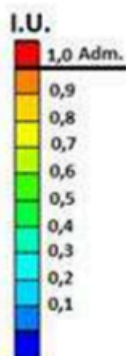


Resultado de I.U. das estacas na região de maior resistência.

CARENAGEM DE CARRO AMOSTRADOR

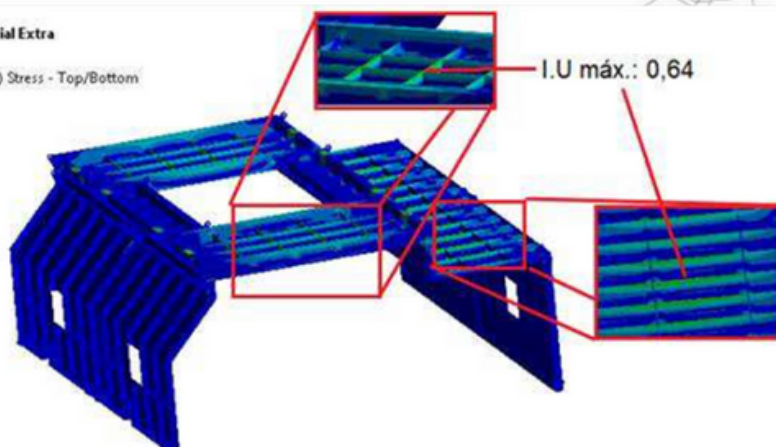
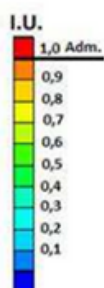
- Motivação da análise: Preocupação do proprietário com a integridade estrutural do equipamento para a condição de acúmulo de material em sua parte superior.
- Desenvolvimento: Cálculo e distribuição de carga máxima de material incrustado na cobertura e verificação do estado limite último estrutural.
- Resultados alcançados: Indicado ao cliente ajuste de torque nos chumbadores de fixação para adequação à condição indicada.

C: Carenagem - sem fixação superior
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa



Resultado da análise estrutural de uma carenagem de um carro amostrador – sem pretensão adequada nos chumbadores.

B: Carenagem - com material Extra
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1

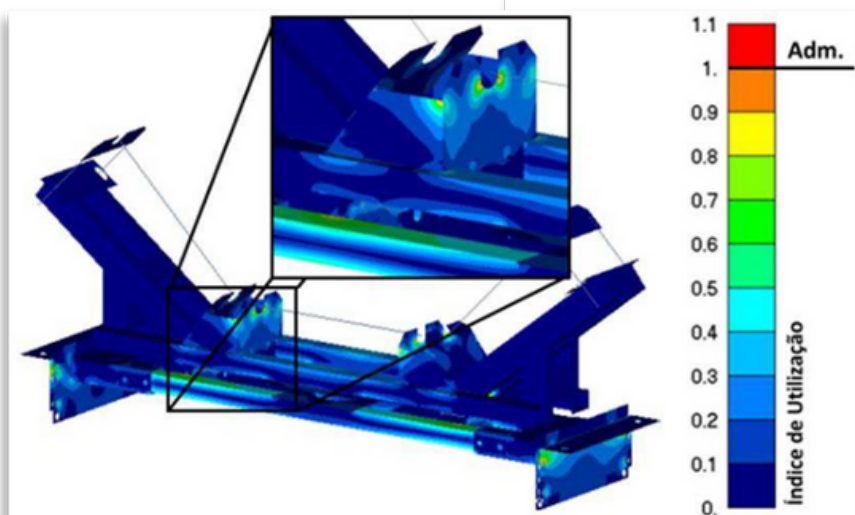
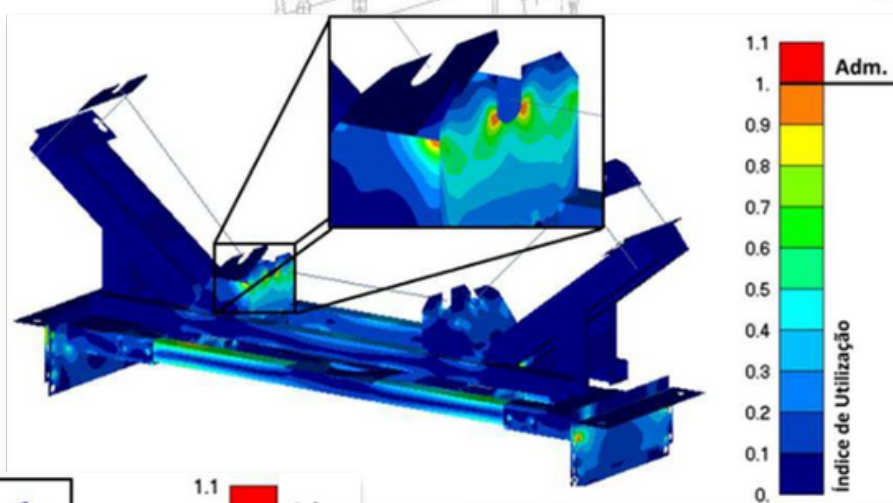


Resultado da análise estrutural de uma carenagem de um carro amostrador – com ligação adequada.

CAVALETE AUTOALINHANTE DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA

- Motivação da análise: Projeto estrutural de um cavalete autoalinhante a ser implantado em um complexo minerário.
- Desenvolvimento: Condições limites avaliadas segundo recomendação da CEMA, vida útil (fadiga) calculada com base nos critérios da norma EN-1993-1-9 e estrutura metálica verificada segundo critérios da NBR 8800 e AISC-360-16.
- Resultados alcançados: Emissão de memorial de cálculo comprovando adequação da estrutura aos critérios de verificação e análise adotados.

Resultado da verificação
[aprovada] do estado
limite último da
estrutura reforçada.

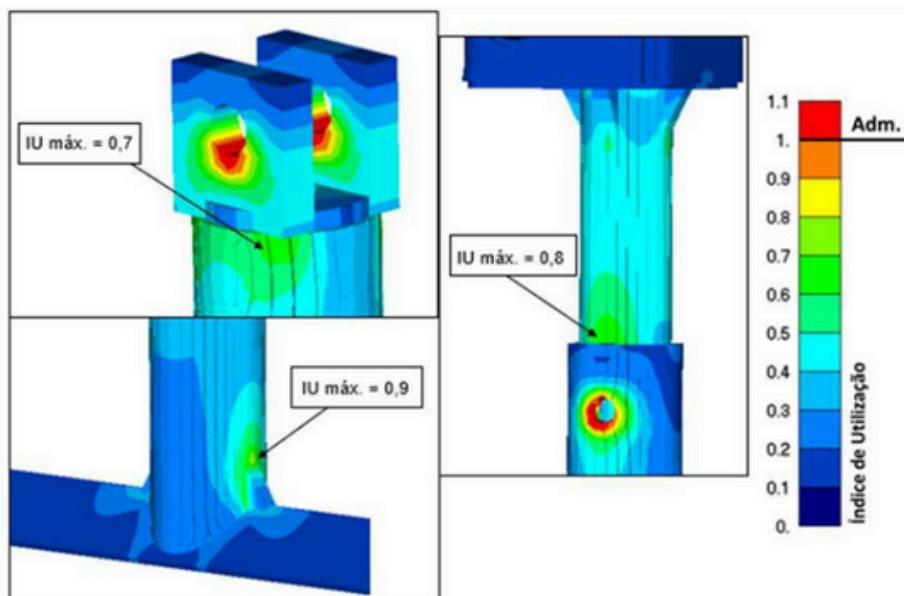
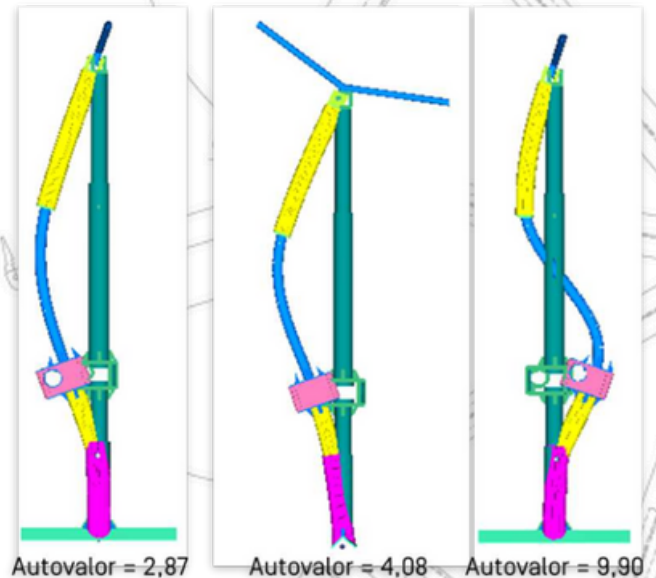


Resultado da verificação
[aprovada] de vida útil
requerida [fadiga] da estrutura
reforçada.

LEVANTADOR DE CORREIA PARA TRANSPORTADORES DE CORREIA

- Motivação da análise: Projeto estrutural de um levantador de correia a ser lançado no mercado.
- Desenvolvimento: Cálculo de cargas relevantes segundo metodologia da CEMA e estrutura verificada conforme as normas AISI 360-16 e NBR 8800.
- Resultados alcançados: Emissão de memorial de cálculo comprovando adequação da estrutura aos critérios de verificação e análise adotados.

Resultado da verificação de flambagem da estrutura original.

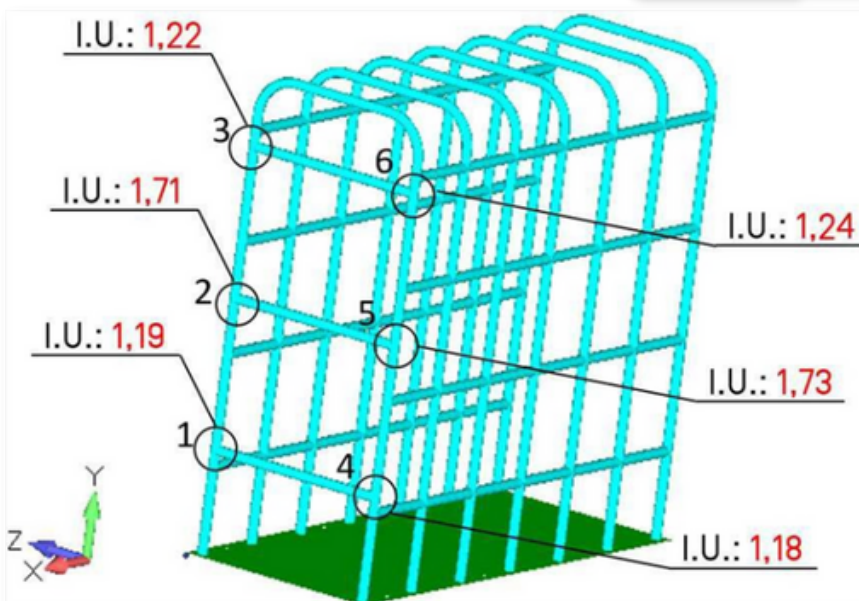
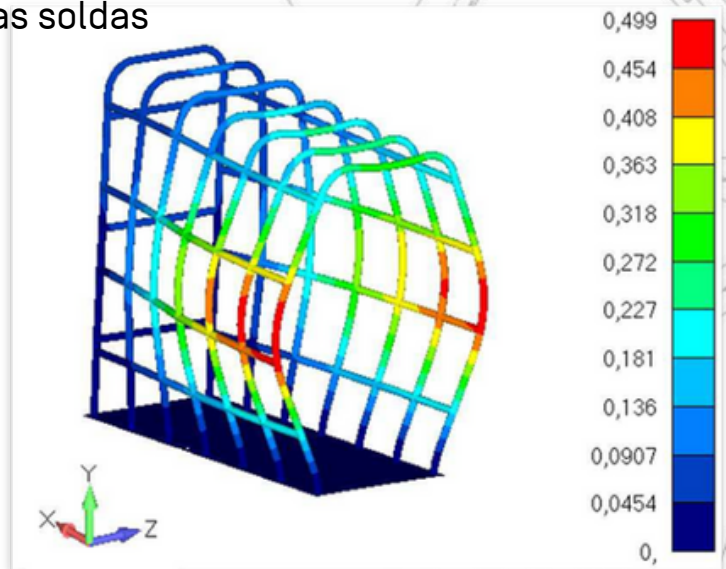


Resultado da verificação de estado limite último da estrutura original - detalhes.

GAIOLA PNEUS FORA DE ESTRADA

- Motivação da análise: Assegurar confiabilidade de um dispositivo de proteção utilizado durante a calibração de pneus de fora de estrada.
- Desenvolvimento: Verificação com base nas recomendações da OSA 1910.177, DNVGL-RP-C208 e AISC-360-16.
- Resultados alcançados: Identificação de não conformidade e adequação da especificação das soldas traseiras da gaiola (aumento do tamanho do filete).

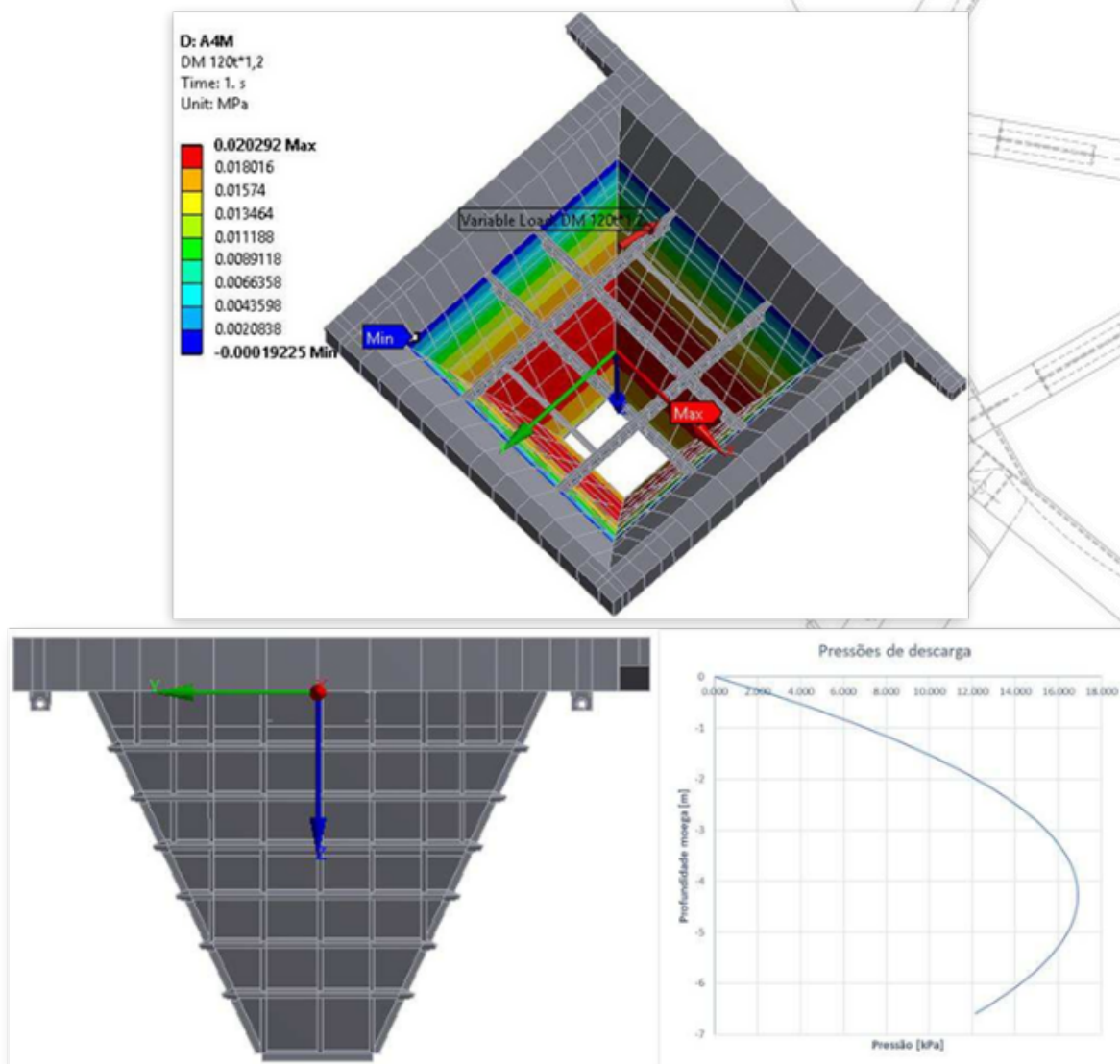
Resultado de deslocamentos da estrutura no caso de explosão do pneu durante o enchimento.



Soldas não conformes a serem reespecificadas.

MOEGA DE UM DESCARREGADOR DE NAVIOS

- Motivação da análise: Quinas das moegas com histórico de nucleação de trincas.
- Desenvolvimento: Análise de tensões e fadiga conforme Eurocode 3. Cargas de enchimento e impacto calculadas conforme AS3774.
- Resultados alcançados: Proposta de reforço aumentando a vida útil da estrutura e garantindo a sua integridade estrutural.

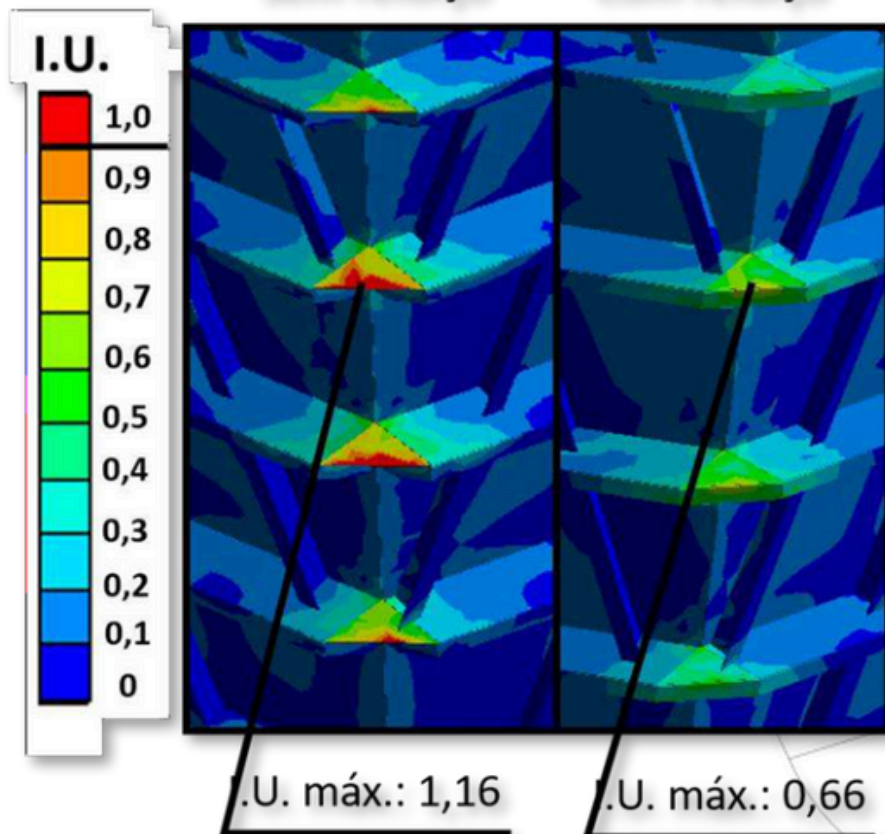


Pressões de descarga atuantes na moega calculados conforme AS3774.

Análise estática

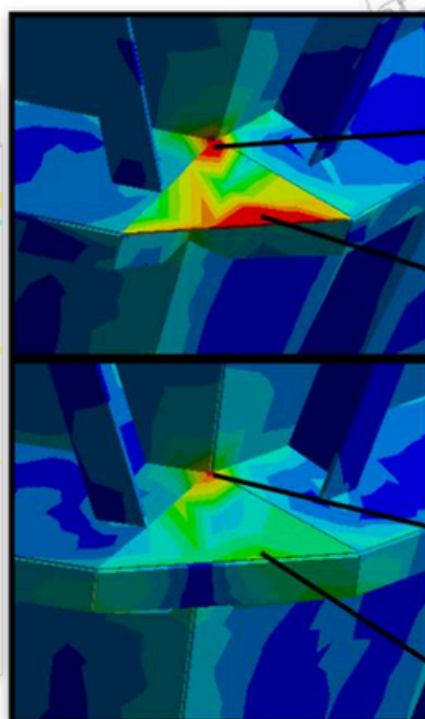
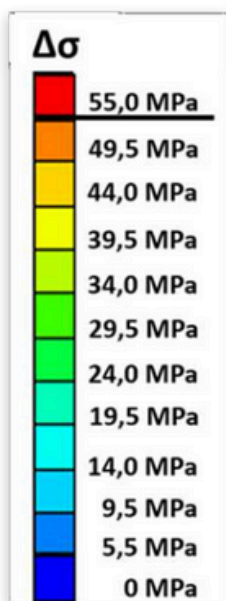
Sem reforço

Com reforço



Resultado da análise estática da moega considerando a estrutura original e a estrutura reforçada.

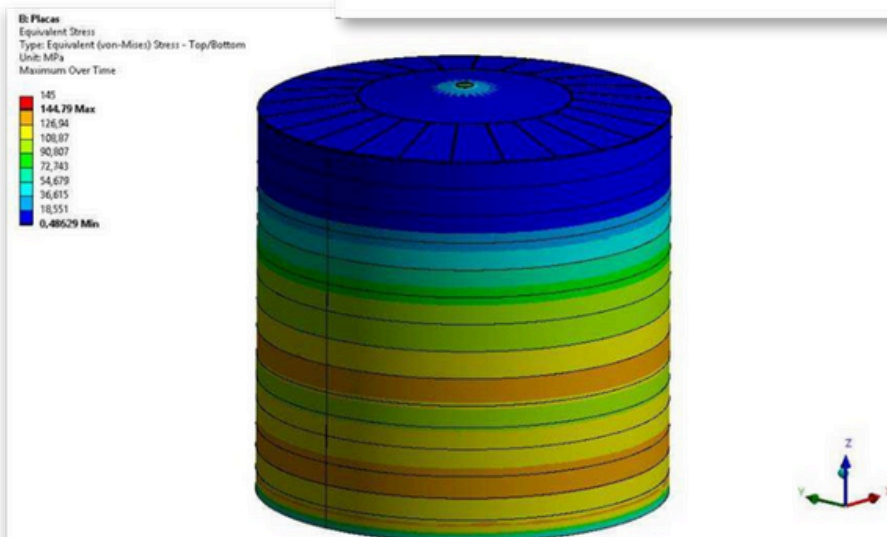
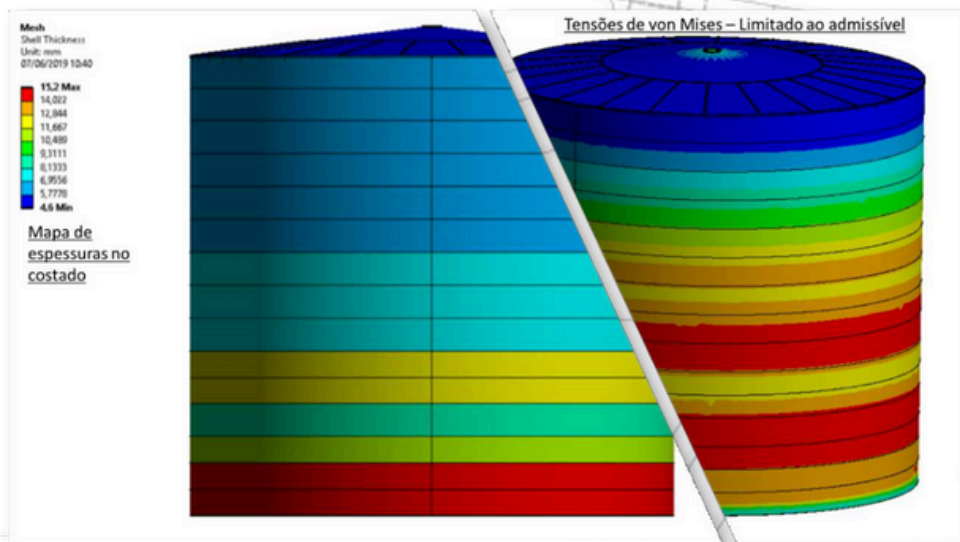
Resultado da análise de fadiga da moega considerando a estrutura original (acima) e a estrutura reforçada (abaixo).



TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE 8000 M³ DE ÁGUA

- Motivação da análise: Estrutura inutilizada por um longo período com desejo de revitalização do proprietário.
- Desenvolvimento: Carregamentos atuantes e análise de tensões conforme API650. A estabilidade de perfis de sustentação do teto conforme AISC-360-16.
- Resultados alcançados: Apresentação de duas soluções: extensão de vida útil sem a necessidade de reforço indicando limites operacionais; adequação estrutural para operação segura com 100% da capacidade do tanque.

Mapa de espessuras no costado advindo de levantamento (esquerda) e tensões atuantes na estrutura (esquerda) em suas condições de campo.



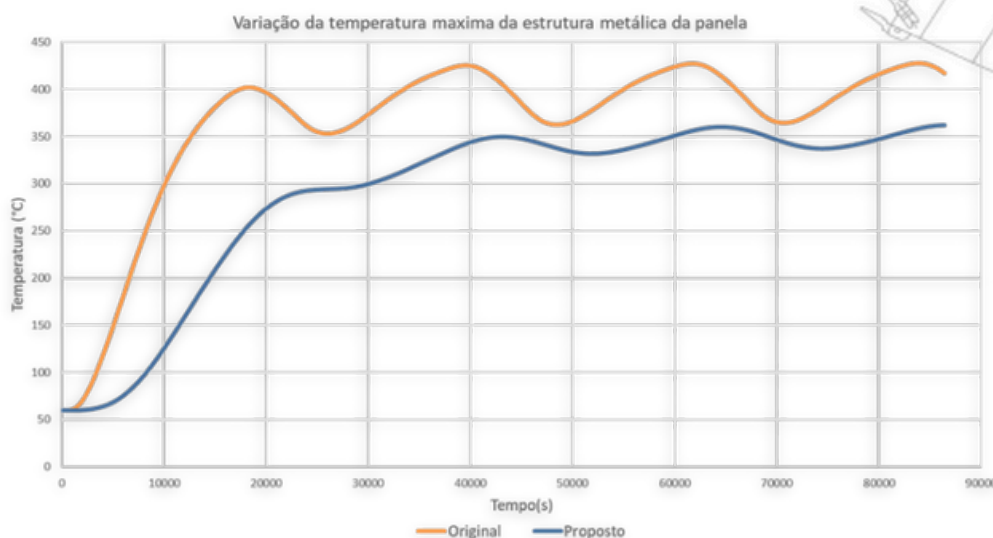
Tensões atuantes na estrutura reforçada.

ANÁLISE TERMOESTRUTURAL DE PAINEL SIDERÚRGICA

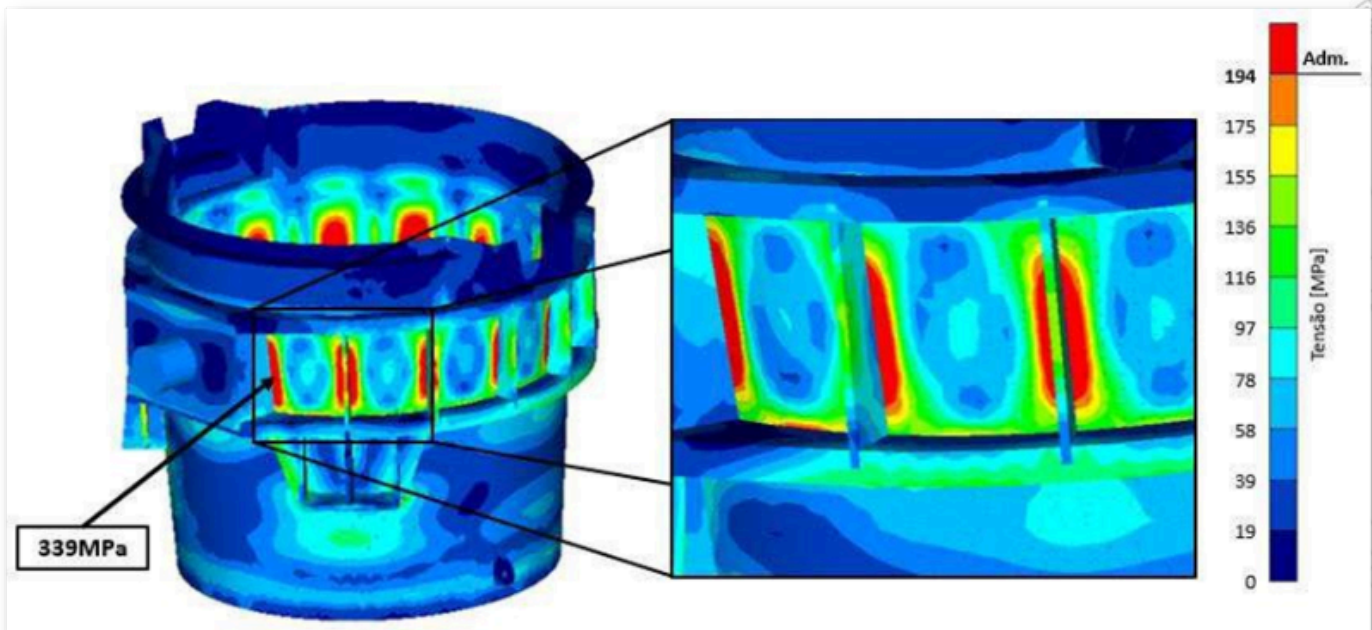
- Motivação da análise: Como forma de revitalizar os equipamentos da fábrica e aumentar a produtividade, foi requisitado o dimensionamento estrutural de uma panela siderúrgica adequada ao repotenciamento do forno ao qual será aplicada.
- Desenvolvimento: Foram realizadas análises térmicas transientes do equipamento para obtenção dos gradientes de temperatura, utilizados para a realização das análises termomecânicas e a avaliação de requisitos mínimos para operação determinados com base na norma AIST TR-09.

Após a avaliação da norma, foram propostas adequações, tais como adaptações geométricas, troca de materiais da estrutura metálica e adição de material isolante. Todas as propostas foram validadas com a análise termomecânica e então comparadas com o projeto original, constatando o impacto positivo das propostas.

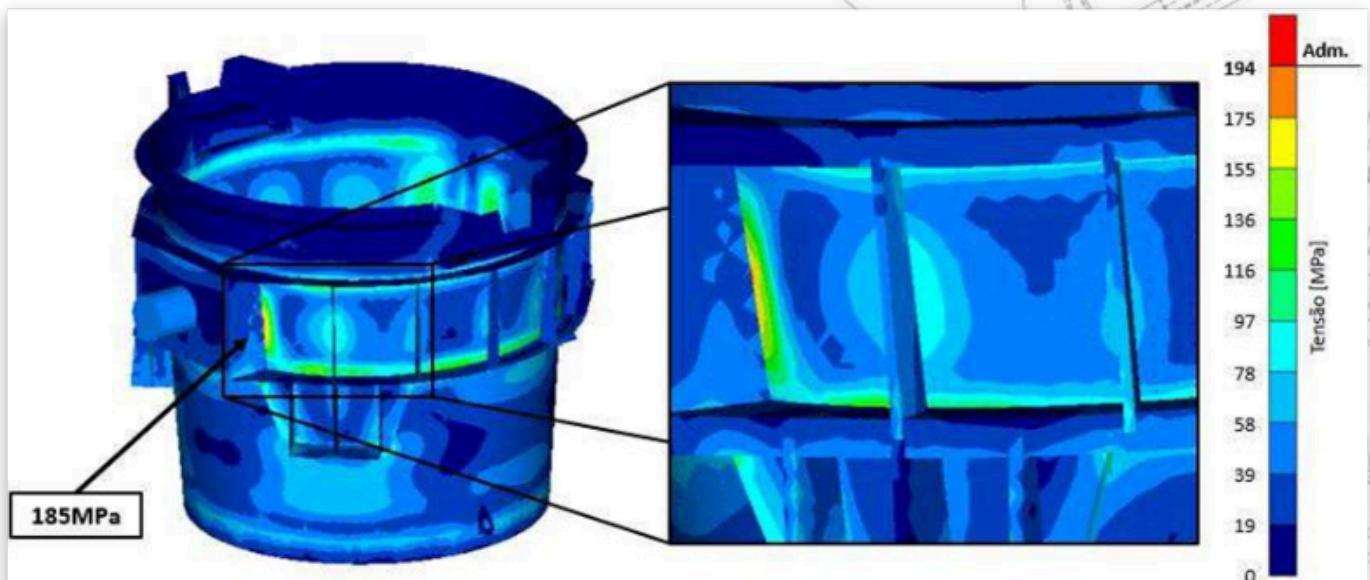
- Resultados alcançados: Com as alterações propostas, obteve-se um projeto de panela mais produtiva e confiável (aderente aos requisitos normativos relevantes), com aumento esperado de 100% em sua vida útil.



Comparação da variação de temperatura da estrutura metálica da panela do projeto original com o proposto.



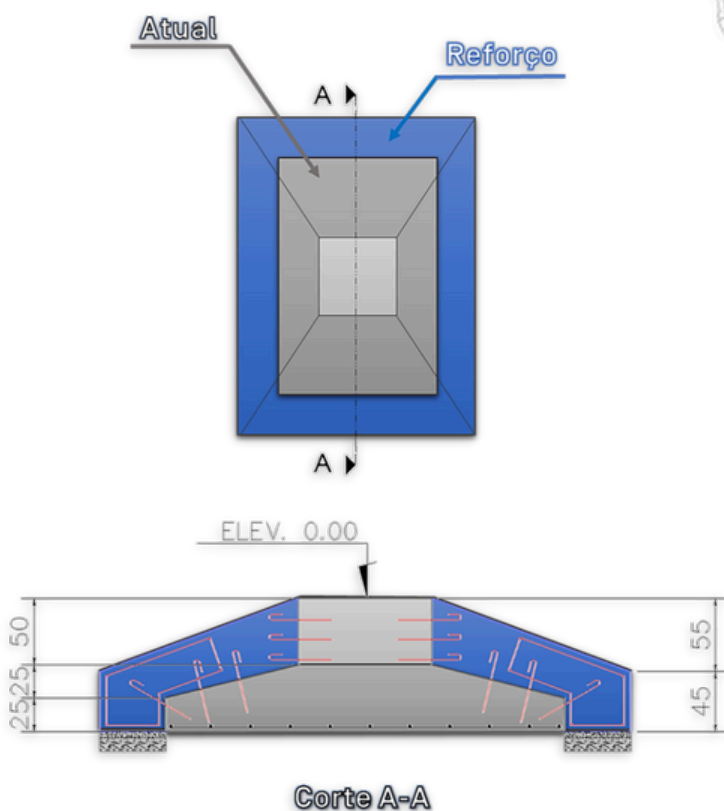
Distribuição de tensões de Von Mises na estrutura metálica da panela do projeto original.



Distribuição de tensões de Von Mises na estrutura metálica da panela após aplicação das alterações propostas.

REFORÇO DA SAPATA – GALPÃO DE SIDERURGIA

- Motivação da análise: Repotenciamento da ponte rolante de um galpão de siderurgia.
- Desenvolvimento: Análise de adequação das fundações conforme as normas vigentes (NBR 6118, NBR 6120 e NBR 6122), assim como da capacidade de suporte do solo. Proposição de reforços otimizados para garantir a integridade estrutural dos ativos.
- Resultados alcançados: Implementação dos reforços das fundações, de forma a garantir a segurança, integridade estrutural e satisfação do cliente.



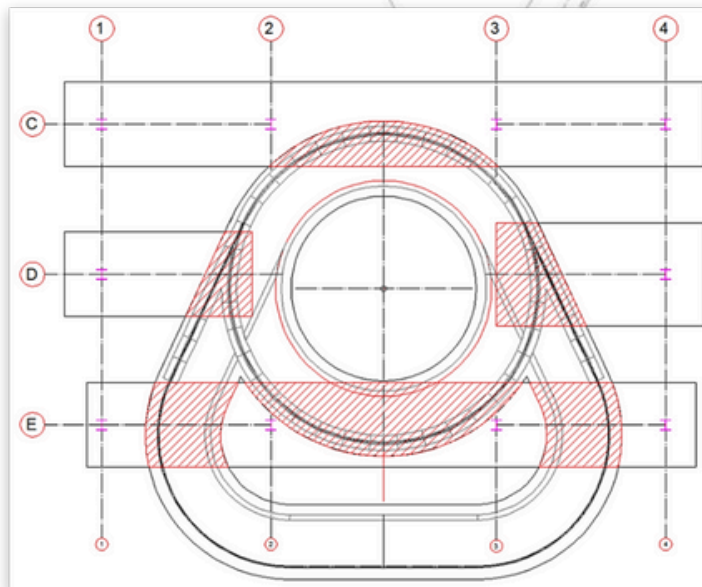
Reforço para fundação tipo sapata.



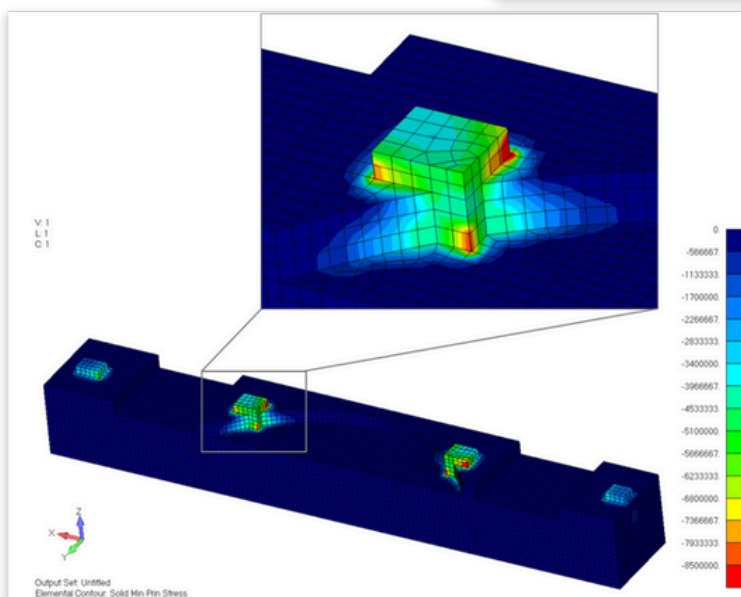
Implementação dos reforços em campo.

AVALIAÇÃO DE RECORTES EM FUNDAÇÃO DE PANELA SIDERÚRGICA

- Motivação da análise: Aumento da capacidade de uma panela siderúrgica [dimensões / capacidade] e consequente necessidade de ajustes na fundação original.
- Desenvolvimento: Verificação da funcionalidade e eficácia da fundação após os recortes conforme normas NBR 6118, NBR 6120 e NBR 6122. Avaliação da necessidade de reforços e da integridade estrutural após as modificações previstas.
- Resultados alcançados: Viabilização dos recortes na fundação original e possibilidade de repotenciamento da panela siderúrgica.



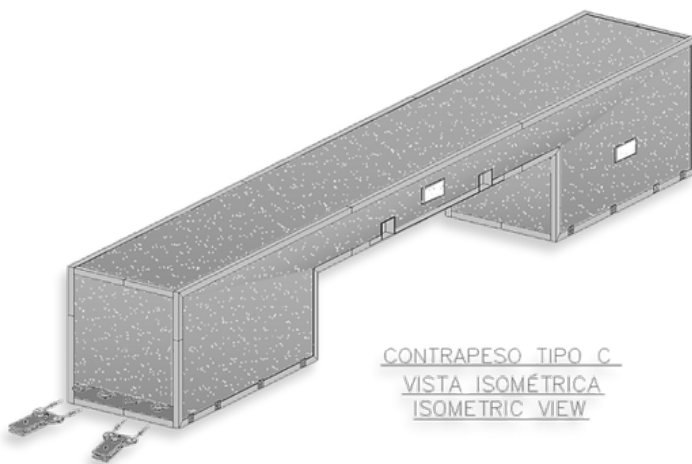
Recortes verificados na fundação.



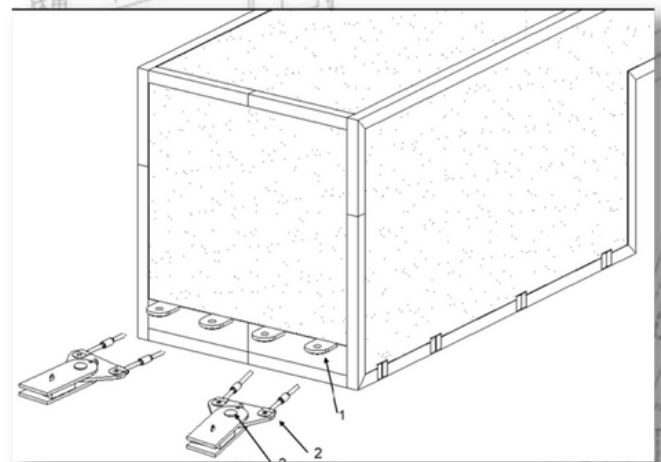
Análise de recortes na fundação em Elementos Finitos.

PROJETO DOS CONTRAPESOS DE CONCRETO

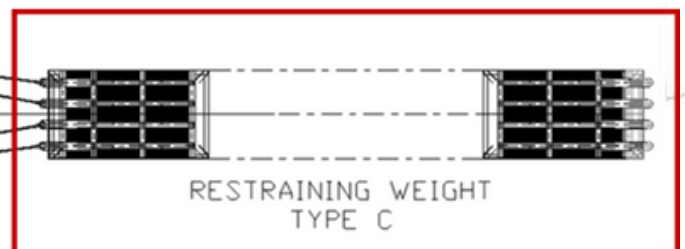
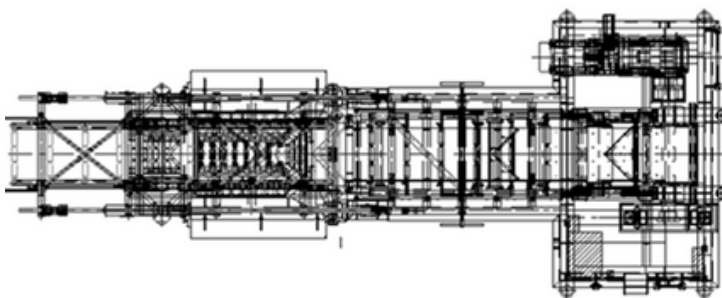
- Motivação da análise: Dimensionamento e fabricação de contrapesos para transportador de bancada.
- Desenvolvimento: Projeto de contrapesos para transportador conforme normas NBR 6118, NBR 8400, NBR 6120 e AISC 360-16, de forma a assegurar o desempenho e integridade da estrutura durante a operação, içamento e transporte. Foram verificados estados limites últimos [resistência] e de serviço [estabilidade e deslizamento].
- Resultados alcançados: Contrapesos fabricados e transportados com sucesso para o local de aplicação. Durante a operação do equipamento, garantiram a estabilidade e funcionalidade do transportador de bancada.



Contrapeso tipo C.



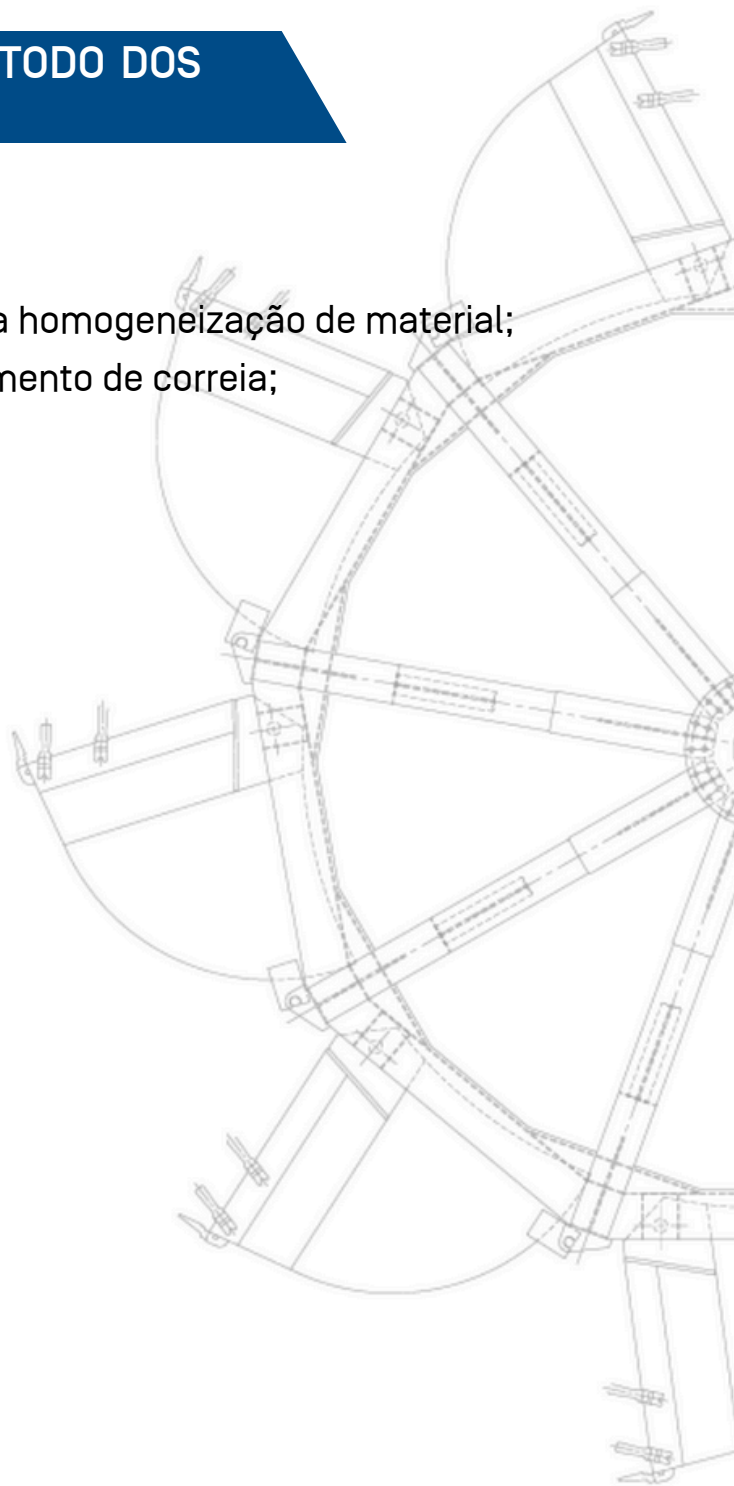
Ligações dimensionadas para contrapeso.



Localização do contrapeso durante funcionamento no transportador de bancada.

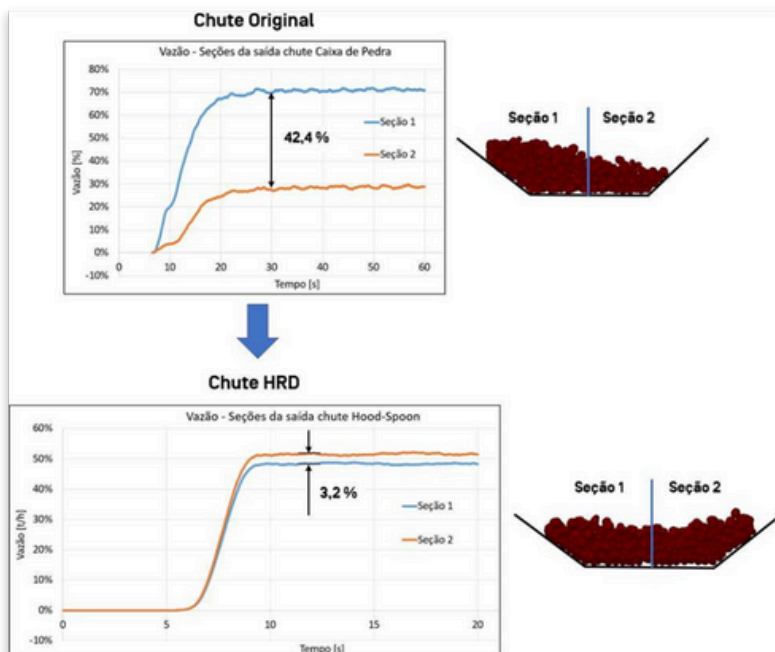
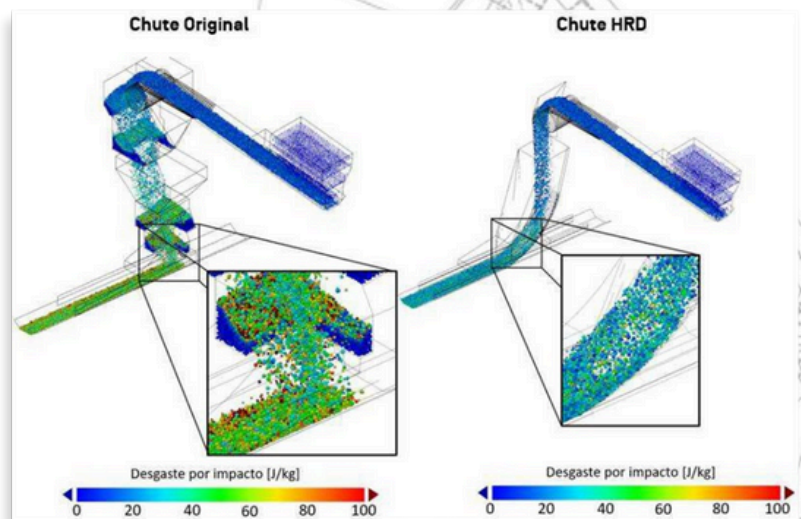
ESTUDOS DE CASO - ANÁLISE VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

- Chute de transferência;
- Válvula desviadora de fluxo;
- Avaliação da eficiência de um arado na homogeneização de material;
- Investigação de desgaste e desalinhamento de correia;
- Otimização de geometria de chutes.



CHUTE DE TRANSFERÊNCIA

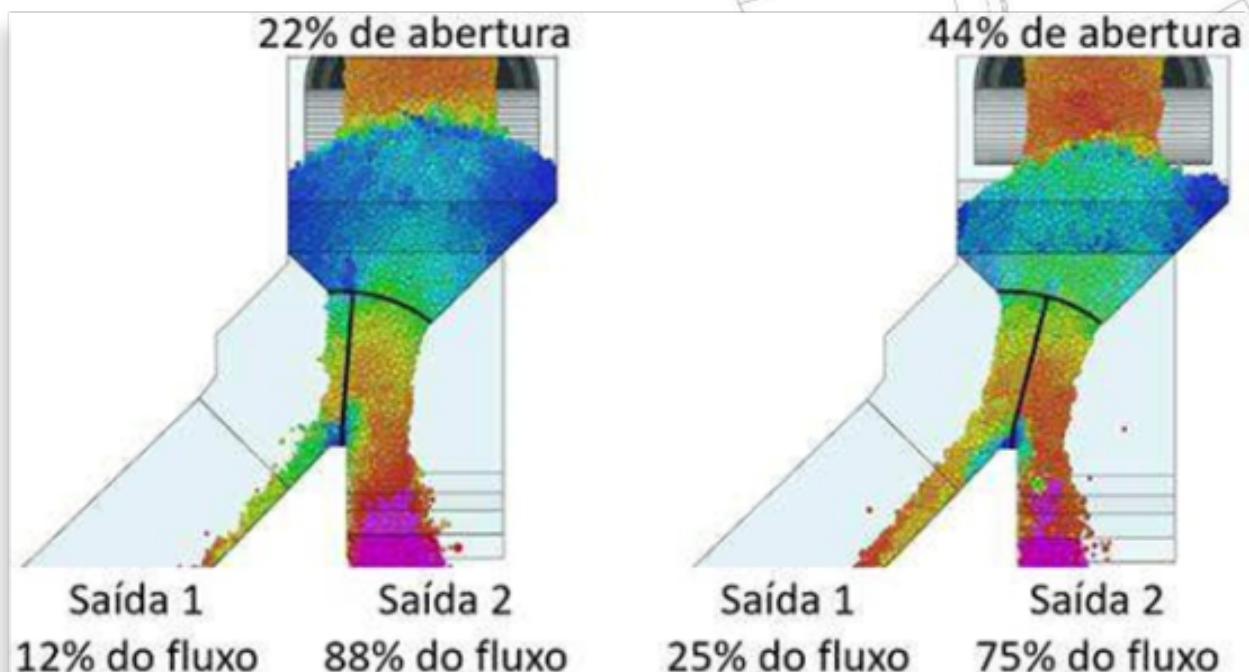
- Motivação da análise: Reduzir a geração de poeira nos chutes de transferência de uma usina de pelotização.
- Desenvolvimento: Estudo da trajetória do material, análise via Método dos Elementos Discretos [DEM] da transferência existente (modelo Caixa de Pedra) e proposta de um novo conceito de chute (modelo Hood-Spoon).
- Resultados alcançados:
Redução da quebra de pelotas [geração de particulados],
redução do desalinhamento e desgaste da correia,
estabilidade do fluxo e
garantia de não entupimento.



Vazão de material na correia de recebimento. Comparação entre o Chute Original e o Chute proposto pela HRD.

VÁLVULA DESVIADORA DE FLUXO

- Motivação da análise: Avaliar risco de entupimento de chutes em um projeto para instalação de válvulas de desvio de fluxo. Obter as curvas de distribuição do fluxo em função da abertura da válvula.
- Desenvolvimento: Análise via Método dos Elementos Discretos (DEM) para estudo do fluxo de material em diferentes posições das válvulas de desvio de fluxo.
- Resultados alcançados: Atestado que não ocorrerá entupimento dos chutes independente da posição das válvulas, validando o conceito do projeto e garantindo uma operação contínua e segura com regulação da distribuição do fluxo de saída.



Análises DEM para estudo do fluxo de material em diferentes posições da válvula de desvio de fluxo.

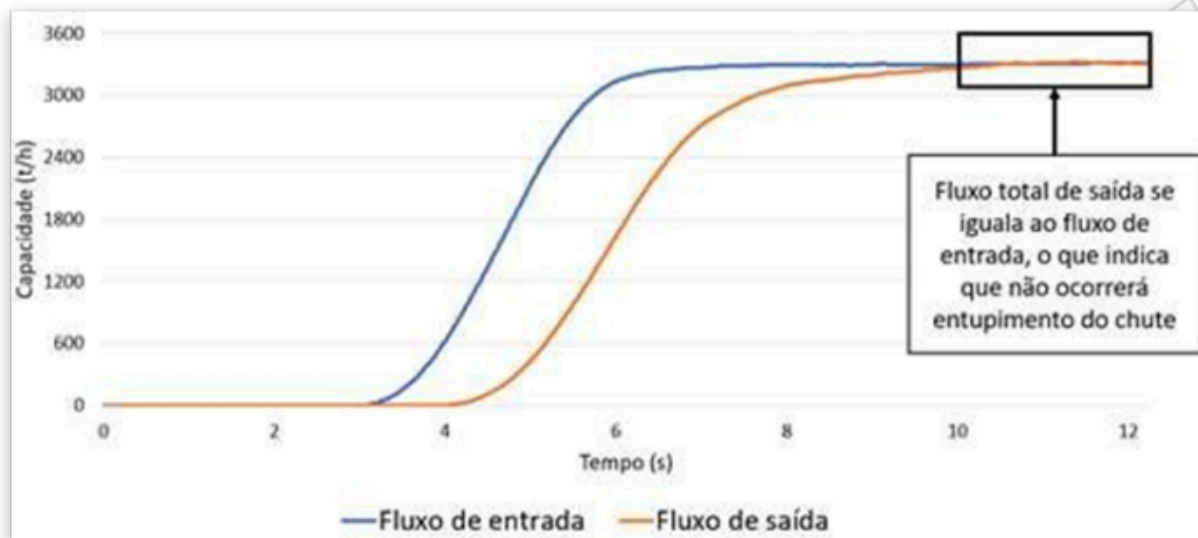


Gráfico de fluxos de entrada e saída por tempo para verificação de entupimento de chute.

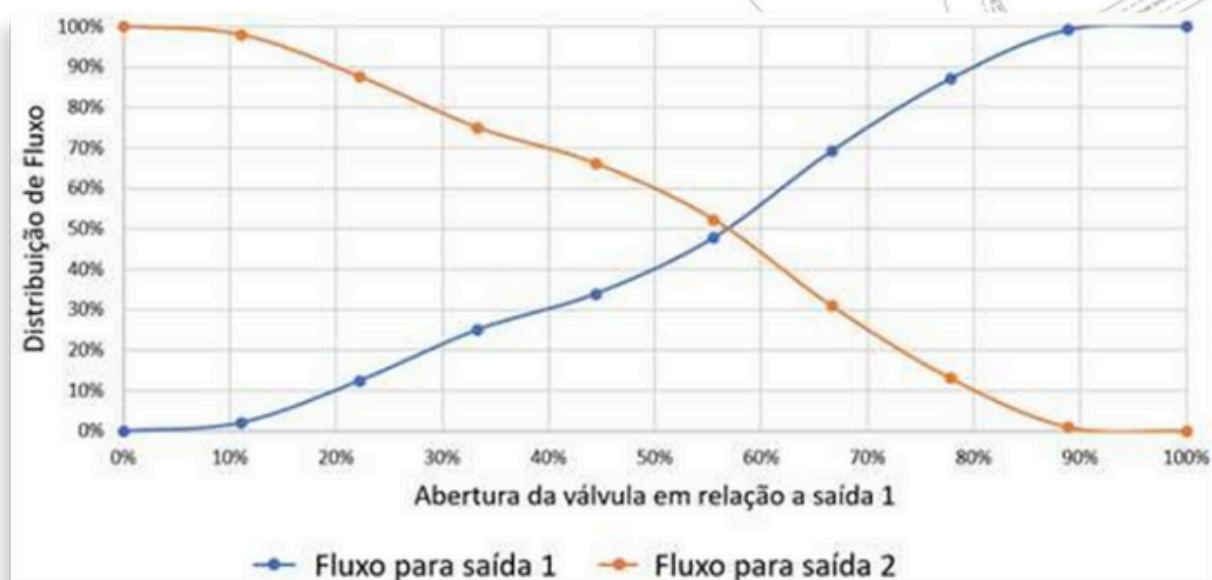
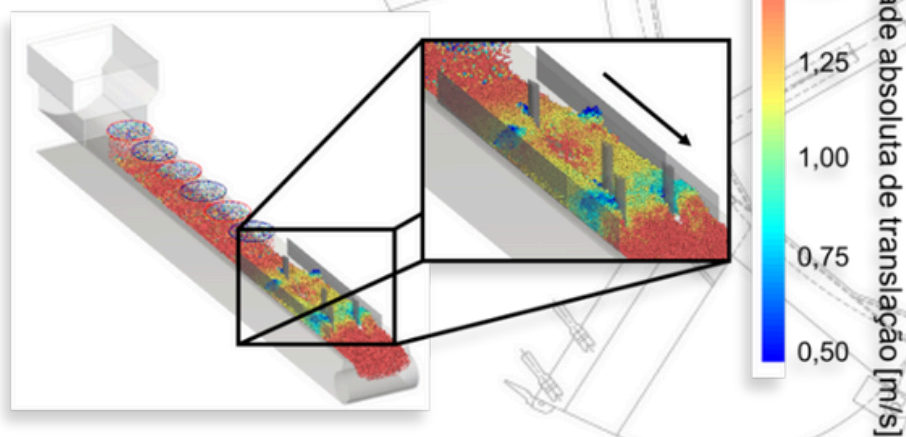


Gráfico de distribuição de fluxo em função da abertura da válvula obtido a partir dos resultados das análises DEM.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM ARADO NA HOMOGENEIZAÇÃO DE MATERIAL

- Motivação da análise: Avaliar a eficiência teórica da homogeneização de seis tipos de carvão, que alimentam um transportador de correia, a partir da implementação de um arado.
- Desenvolvimento: A partir do método dos elementos discretos (DEM), por meio da verificação de entupimento, transbordo e homogeneização das seis camadas de material formadas, foram realizadas simulações iterativas de forma a obter a melhor geometria para o arado proposto.
- Resultados alcançados: Os resultados obtidos, para a geometria proposta, comprovaram a eficiência do arado na homogeneização de material sem que houvesse entupimento e transbordo de material.

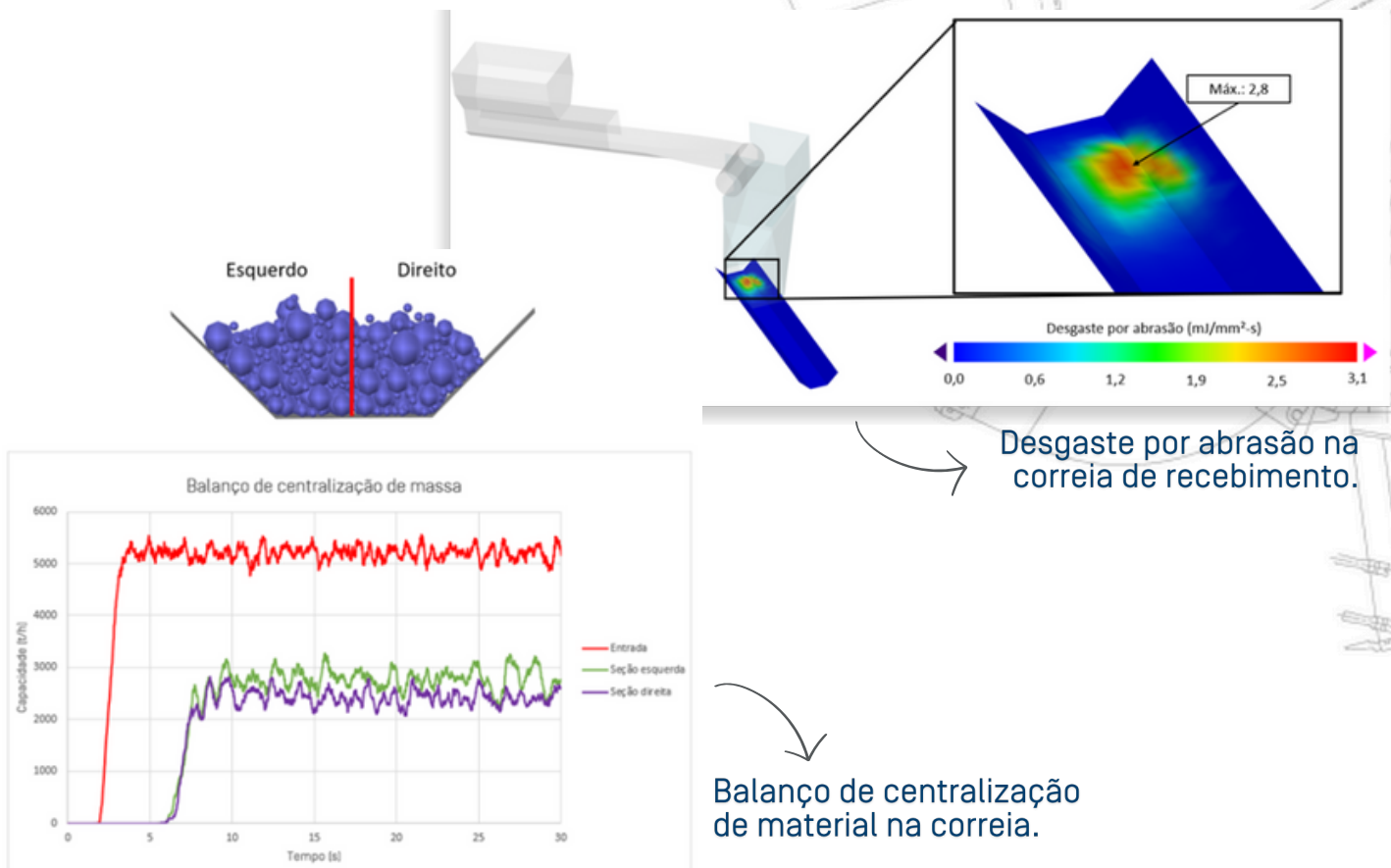
Velocidade do material ao passar pela geometria de arado proposta.



Distribuição de material na seção da correia antes e após o arado proposto.

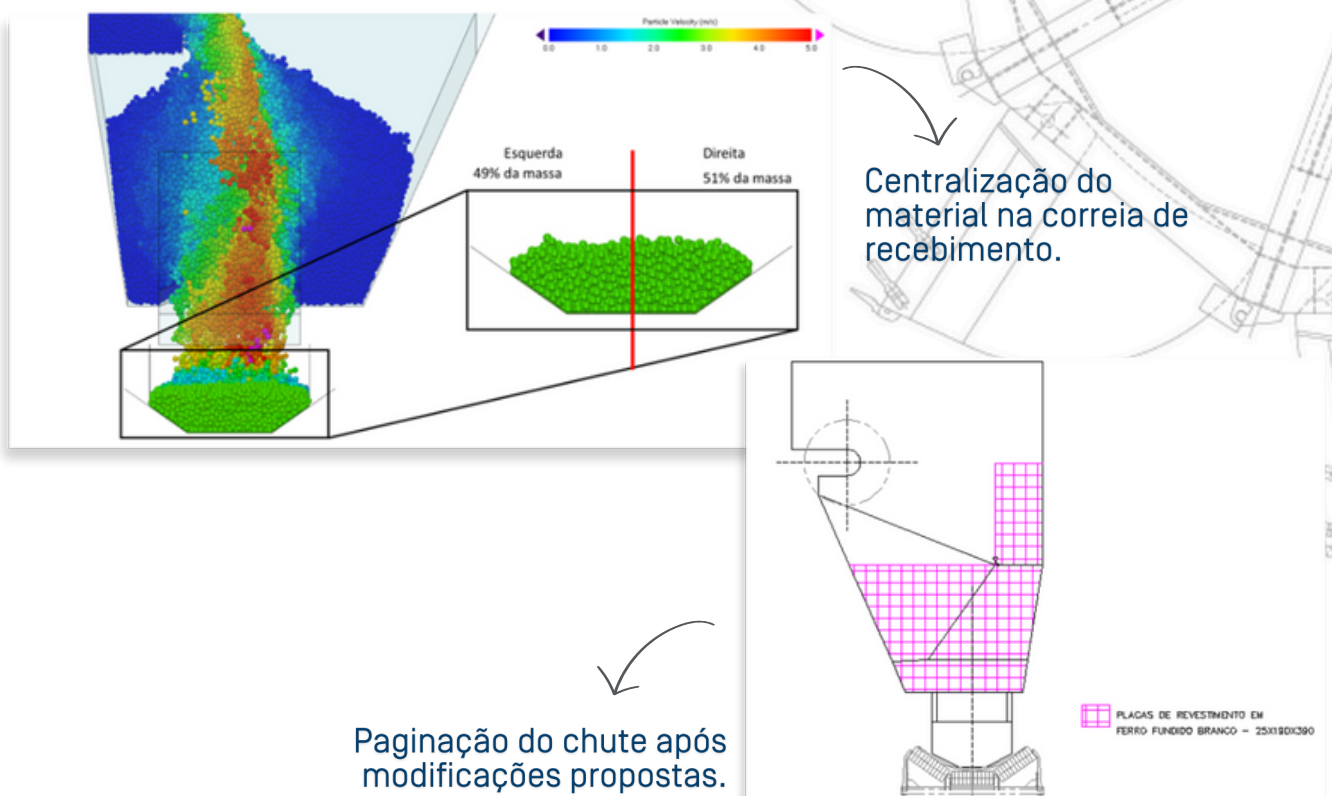
INVESTIGAÇÃO DE DESGASTE E DESALINHAMENTO DE CORREIA VIA ANÁLISE DEM

- Motivação da análise: Verificar a contribuição da região de transferência de material para o desalinhamento e desgaste prematura da correia, observados em campo.
- Desenvolvimento: Análise via Método dos Elementos Discretos (DEM) para estudo do fluxo de material, de forma a quantificar a descentralização de material na correia e o desgaste gerado na interface material-correia de recebimento.
- Resultados alcançados: Não foram identificados valores relevantes de desgaste e descentralização de material na correia. Dessa forma, foi possível concluir que a região de transferência não contribui significativamente para os problemas relatados em campo.



OTIMIZAÇÃO DE GEOMETRIA DE CHUTES

- Motivação da análise: Propor modificações na geometria original de chutes, de forma a otimizá-la quanto à centralização de material, entupimento e desgaste na correia e paredes do chute
- Desenvolvimento: A geometria recebida foi modificada de forma a seguir o conceito “caixa de pedra”, a fim de reduzir o desgaste nas paredes dos chutes. A partir das modificações foram realizadas as verificações requeridas, via DEM, de forma a comprovar a eficácia das alterações.
- Resultados alcançados: As modificações propostas na geometria original se mostraram eficientes quanto aos parâmetros avaliados, não sendo esperado entupimento, desalinhamento ou desgaste excessivo nas paredes do chute e correia. Além disso, a partir da identificação das regiões em contato com material, foi possível indicar a paginação necessária na chaparia dos chutes.

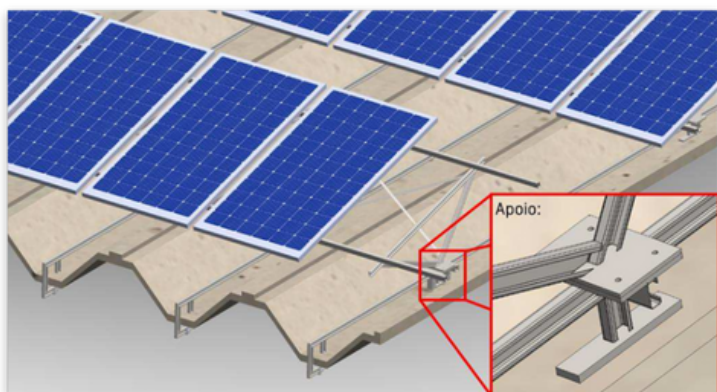


ESTUDOS DE CASO - ELABORAÇÃO DE MODELOS CAD 3D

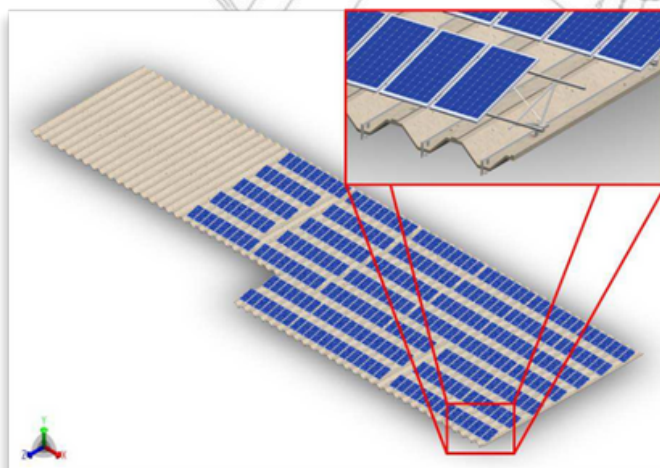
- Fixação de painéis fotovoltaicos;
- Portaria de condomínio;
- Retenção de material em porto;
- Equipamento de elevação de carga;
- Elaboração de maquetes 3D.

FIXAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.

- Motivação da análise: Necessário projeto de estrutura para fixação de painéis fotovoltaicos em telhado de concreto.
- Desenvolvimento: Brainstorm e discussão conceitual, dimensionamento da estrutura conforme NBR-8800 e AISC-360, elaboração de modelo CAD 3D e desenhos 2D de fabricação.
- Resultados alcançados: Previsibilidade das interferências de montagem, lista de material precisa para avaliação da viabilidade do projeto, visual do projeto para aprovação da diretoria do cliente e discussão técnica da ordem de montagem e estratégias de içamento das peças.



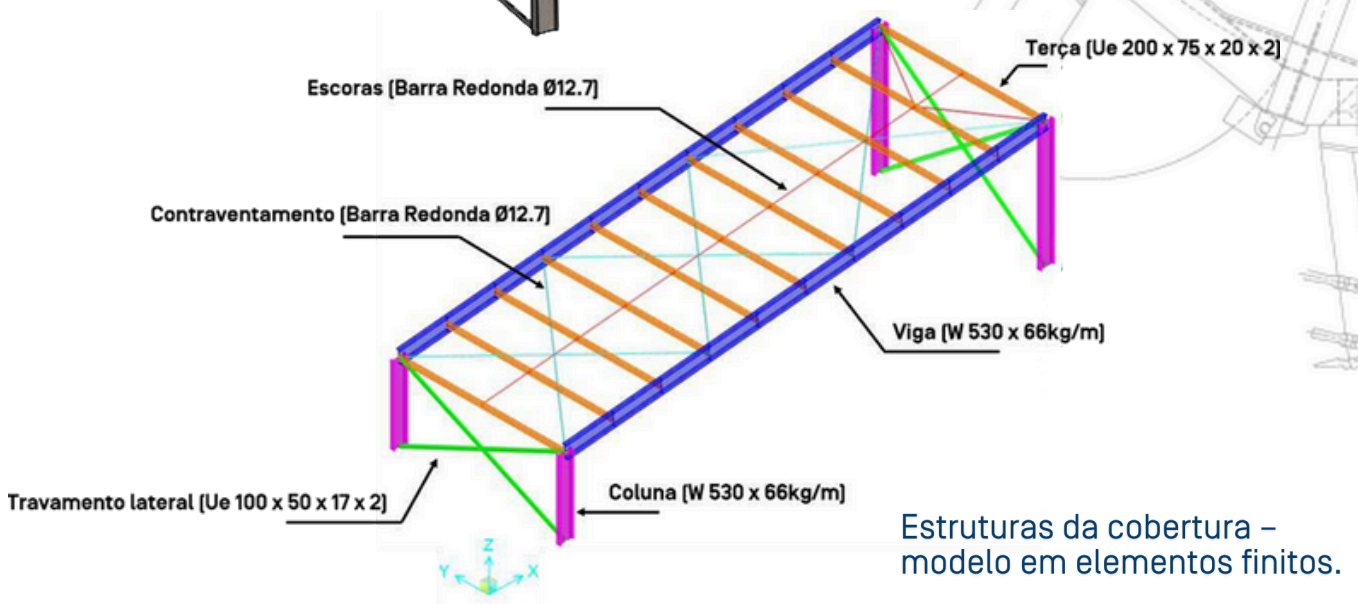
Estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos [detalhe do apoio] – modelo CAD 3D.



Estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos [montagem e estrutura] – modelo CAD 3D.

PORTARIA DE CONDOMÍNIO

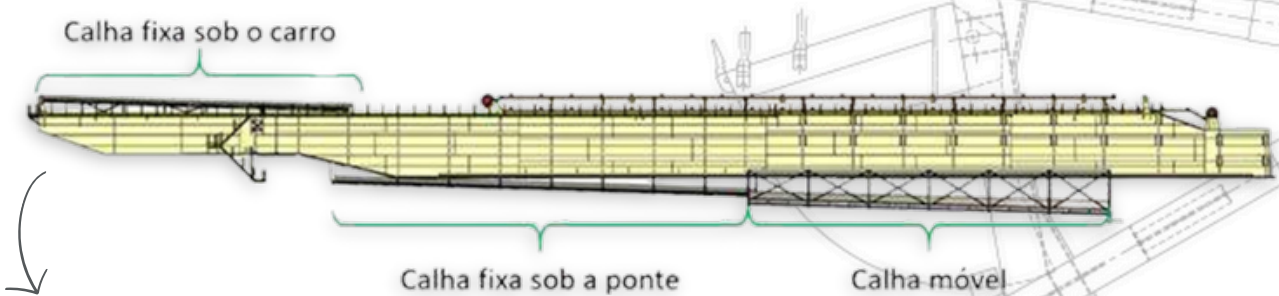
- Motivação da análise: Necessidade de uma estrutura de cobertura para portaria de um condomínio para proteção contra chuva e outras avarias.
- Desenvolvimento: Brainstorm e discussão conceitual, dimensionamento da estrutura conforme NBR-8800 e AISC-360, elaboração de modelo CAD 3D e desenhos 2D de fabricação.
- Resultados alcançados: Projeto estrutural com elevada confiabilidade seguindo requisitos arquitetônicos, lista de material precisa para fabricação e digitalização do projeto.



RETENÇÃO DE MATERIAL EM PORTO

- Motivação da análise: Impacto ambiental com emissão de finos e queda de material incrustado ao mar durante procedimento de limpeza do carregador de navios.
- Desenvolvimento: Definição de pontos otimizados para instalação de raspadores, lavadores e projeto 2D e 3D de calhas para retenção de finos e material desprendido.
- Resultados alcançados: Gêmeo digital da máquina agregado e atualizado com modelos 3D produzidos e cobertura de 60% da área passível de queda com calhas.

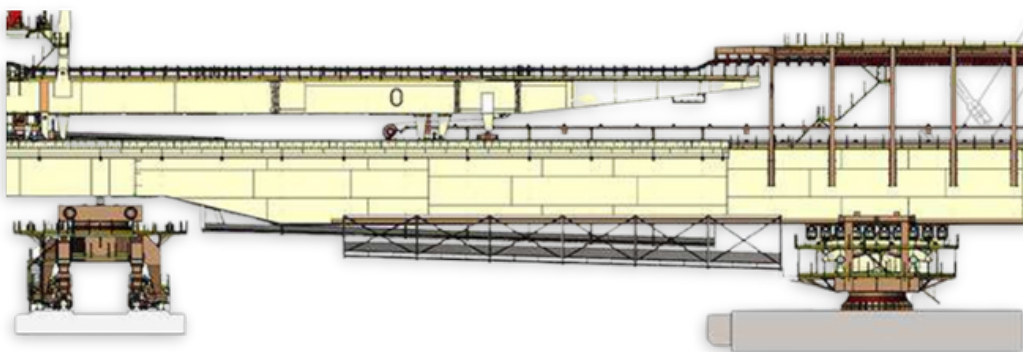
Calha fixa sob o carro



Calha fixa sob a ponte

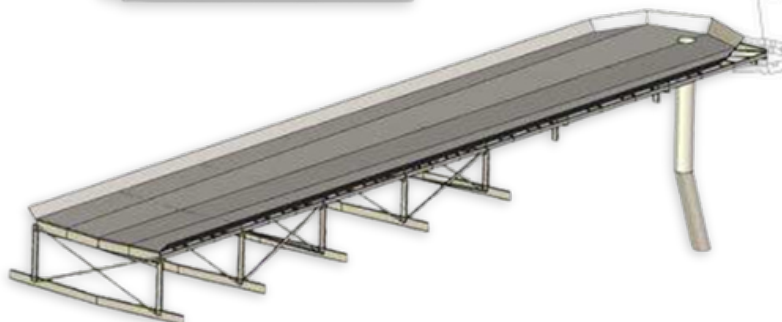
Calha móvel

Estruturas das calhas fixadas na máquina (posição avançada) – modelo CAD 3D.



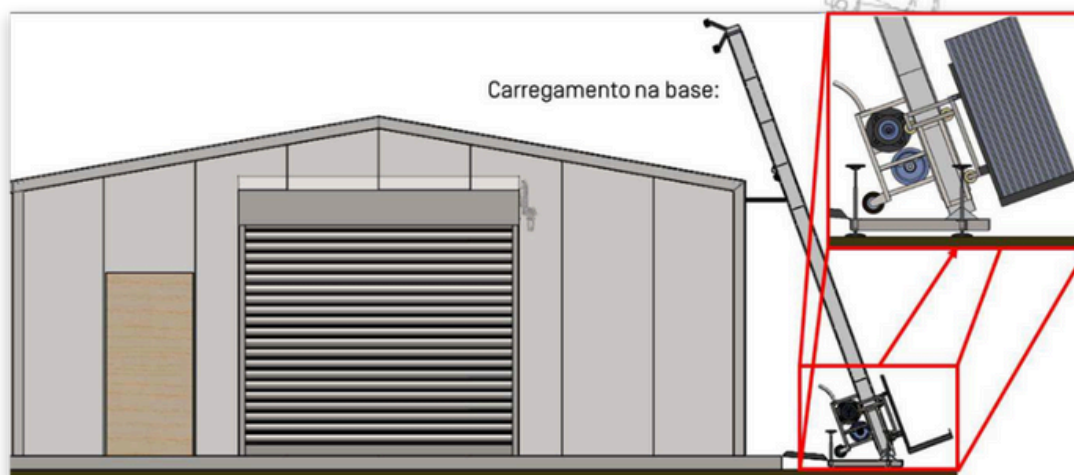
Estruturas das calhas fixadas na máquina (posição recuada) – modelo CAD 3D.

Detalhe da estrutura da calha fixa sob o carro – modelo CAD 3D.

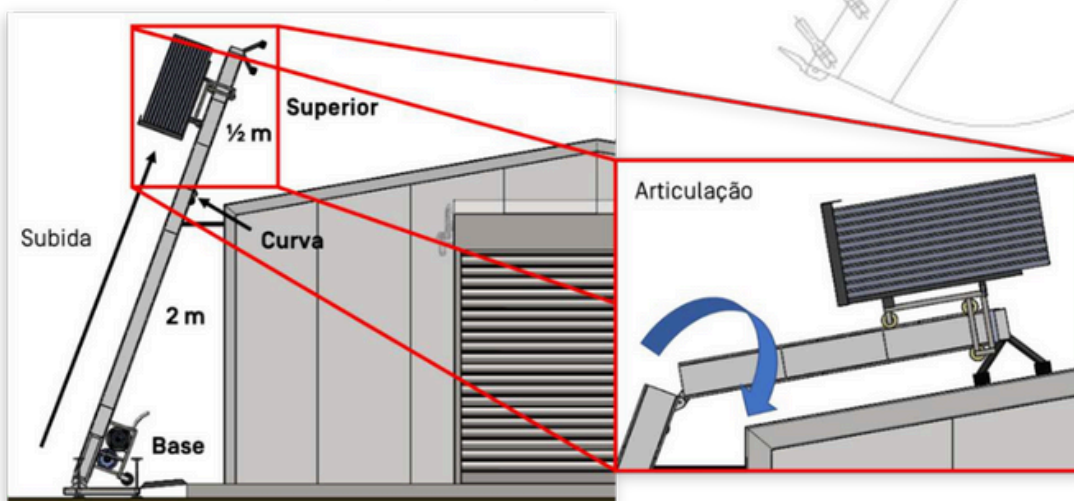


EQUIPAMENTO DE ELEVAÇÃO DE CARGA

- Motivação da análise: Ineficiência na instalação de equipamentos em telhados – muito tempo e mão de obra empregados na elevação segura de cargas, soluções de mercado com alto custo de aquisição.
- Desenvolvimento: Brainstorm e discussão conceitual, dimensionamento estrutural e mecânico e elaboração de modelo CAD 3D completo.
- Resultados alcançados: Lista de material precisa para avaliação da viabilidade do projeto, visual do projeto com animações para aprovação do cliente, taxa de elevação de até 100 módulos fotovoltaicos por hora.



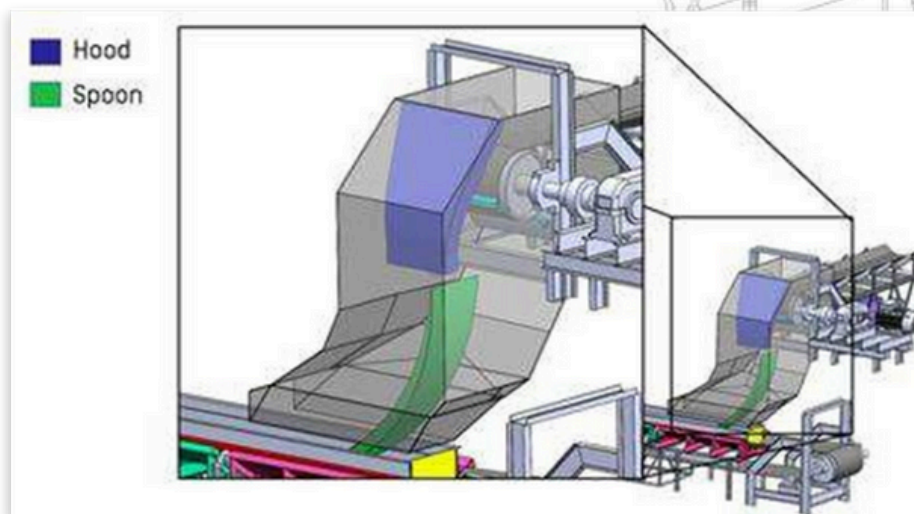
Elevador de cargas [carregamento] – modelo CAD 3D.



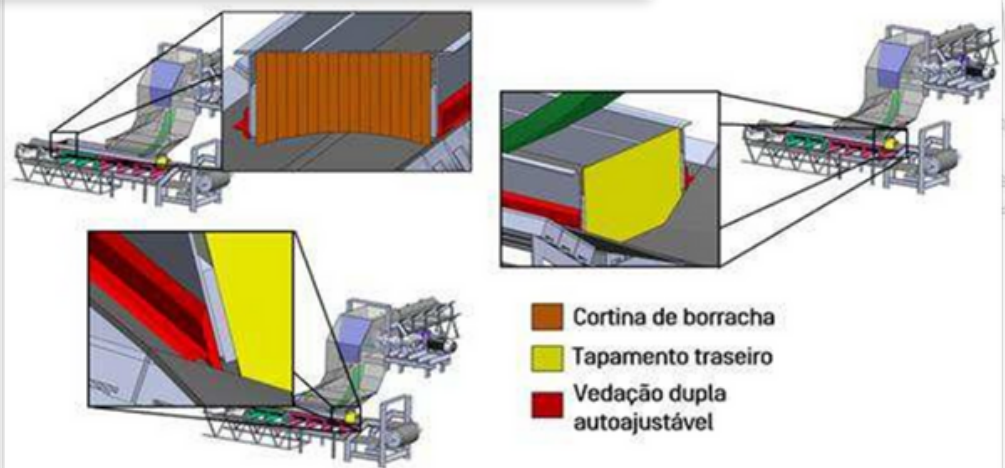
Elevador de cargas [subida e articulação] – modelo CAD 3D.

ELABORAÇÃO DE MAQUETES 3D

- Motivação da análise: Apresentar, por meio de modelos 3D conceituais, as soluções mecânicas utilizadas para a redução da emissão de material particulado em transferências de transportadores de correia.
- Desenvolvimento: Modelagem 3D no software SolidWorks das transferências dos transportadores ressaltando as soluções mecânicas propostas.
- Resultados alcançados: Visualização clara e didática das soluções propostas para redução da emissão do material particulado. Utilização dos modelos 3D para elaboração de apresentações gerenciais e de um vídeo promocional para o cliente contemplando as soluções adotadas.



Eclausuramento da transferência – Modelo CAD 3D.



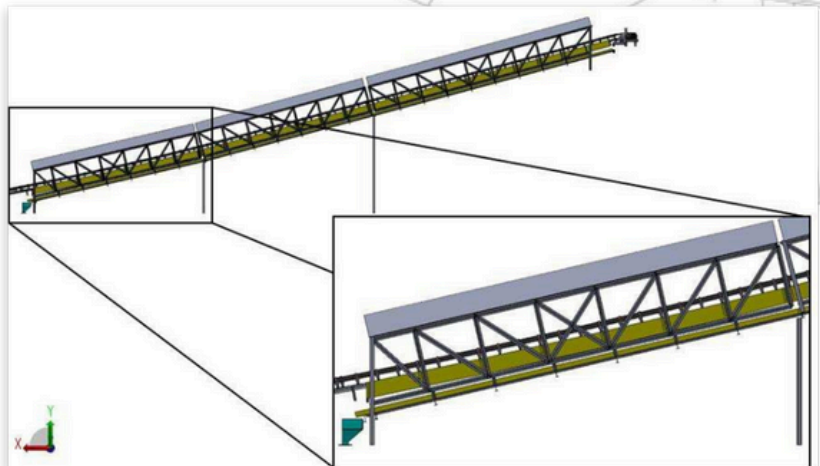
ESTUDOS DE CASO - PROJETOS MECÂNICOS

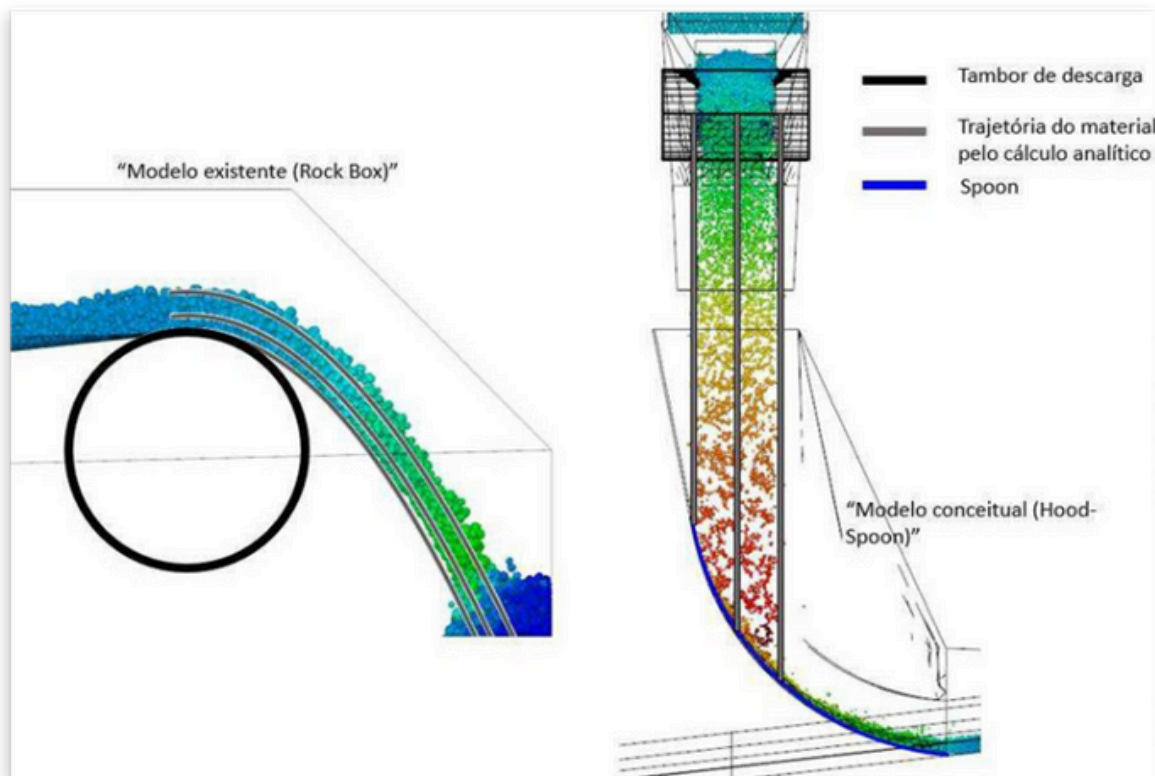
- Projeto conceitual para redução da emissão de particulados;
- Projeto básico [FEL3] de linha TCLD;
- Análise mecânica de Transportador de Correia de pátio de minério;
- Análise mecânica de Transportador de Correia de Longa Distância [TCLD];
- Sistema de despoeiramento;
- Projeto básico [FEL 3] – Repotenciamento de linha de transportadores.

PROJETO CONCEITUAL PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE PARTICULADOS

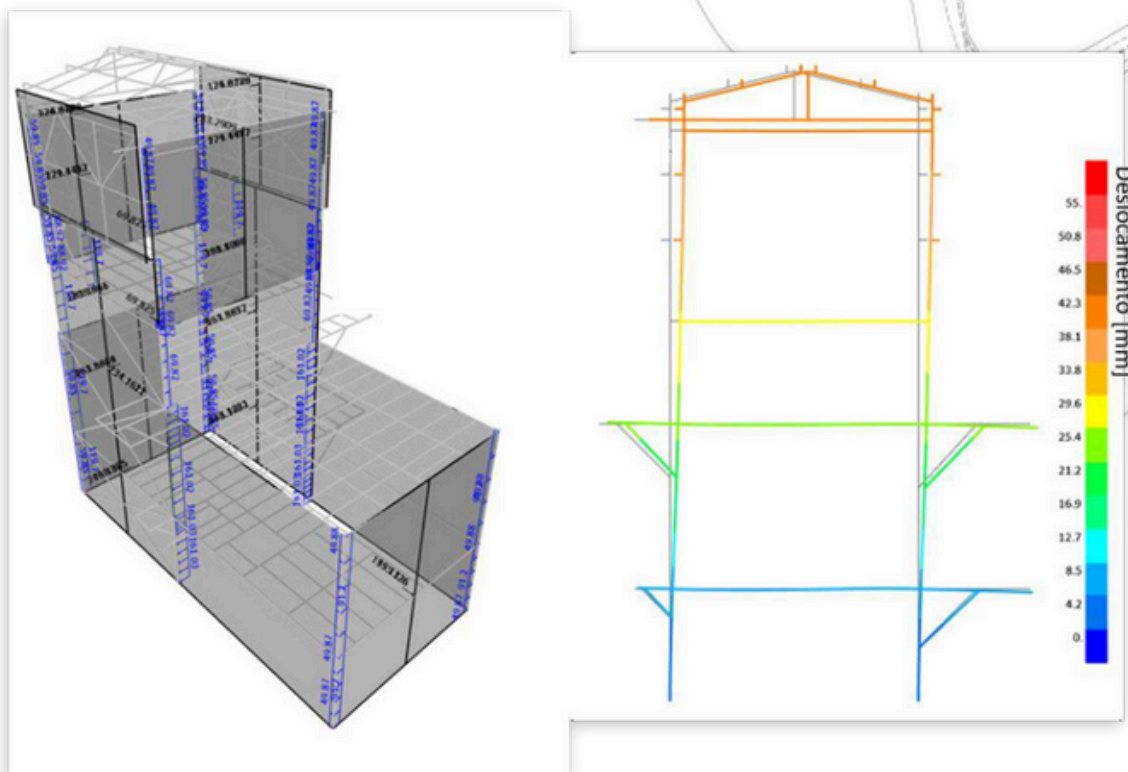
- Motivação da análise: Diminuição do impacto ambiental e aumento na segurança do trabalho através da redução da emissão de particulados em uma usina de pelotização.
- Desenvolvimento: Adequações e modificações das transferências e transportadores de correia, estudo da eficiência dos sistemas de exaustão e filtragem do pó, projeto conceitual para adequação de tubulações, processos e sistemas de utilidades.
- Resultados alcançados: Redução da emissão de particulados para adequação aos requisitos do CONAMA, redução da perda de material difuso e aumento de segurança operacional.

Projeto de calha fluidizada instalado no transportador de correia – Modelo CAD 3D.

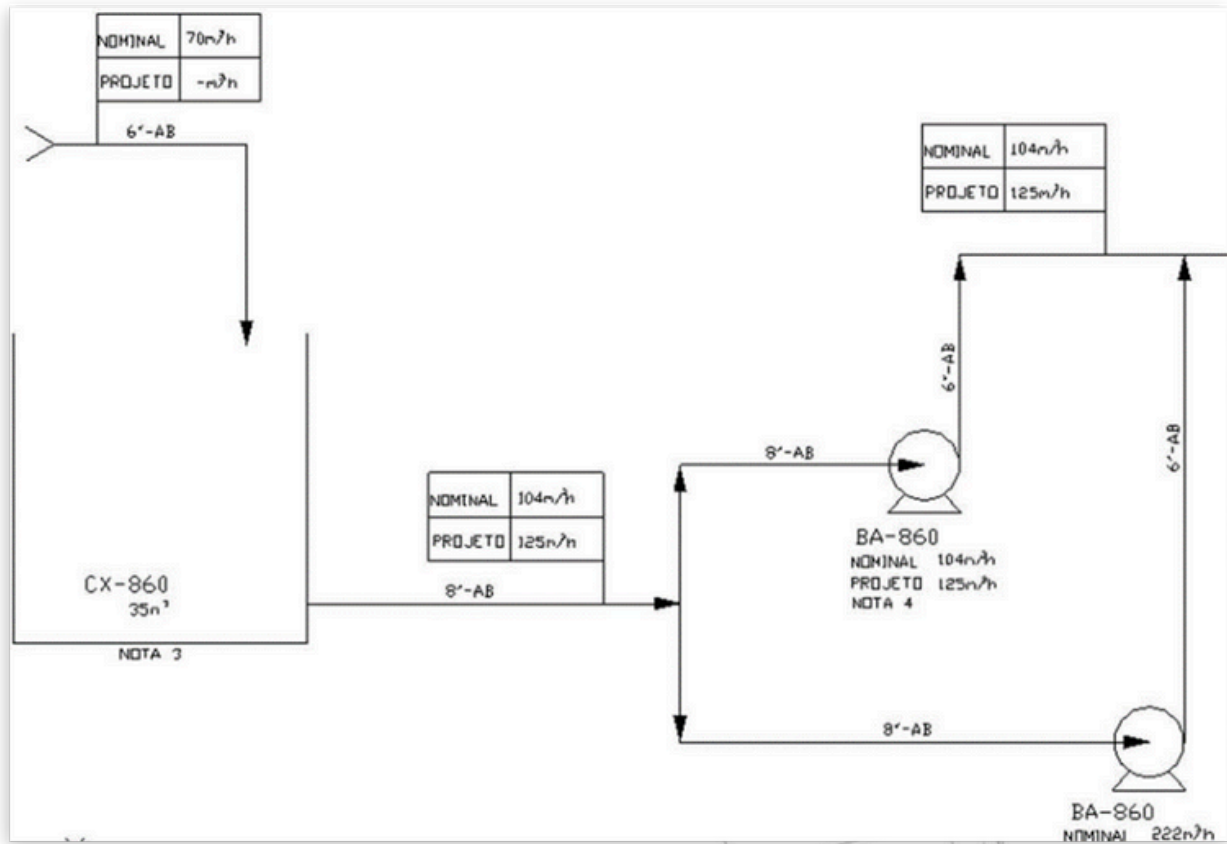




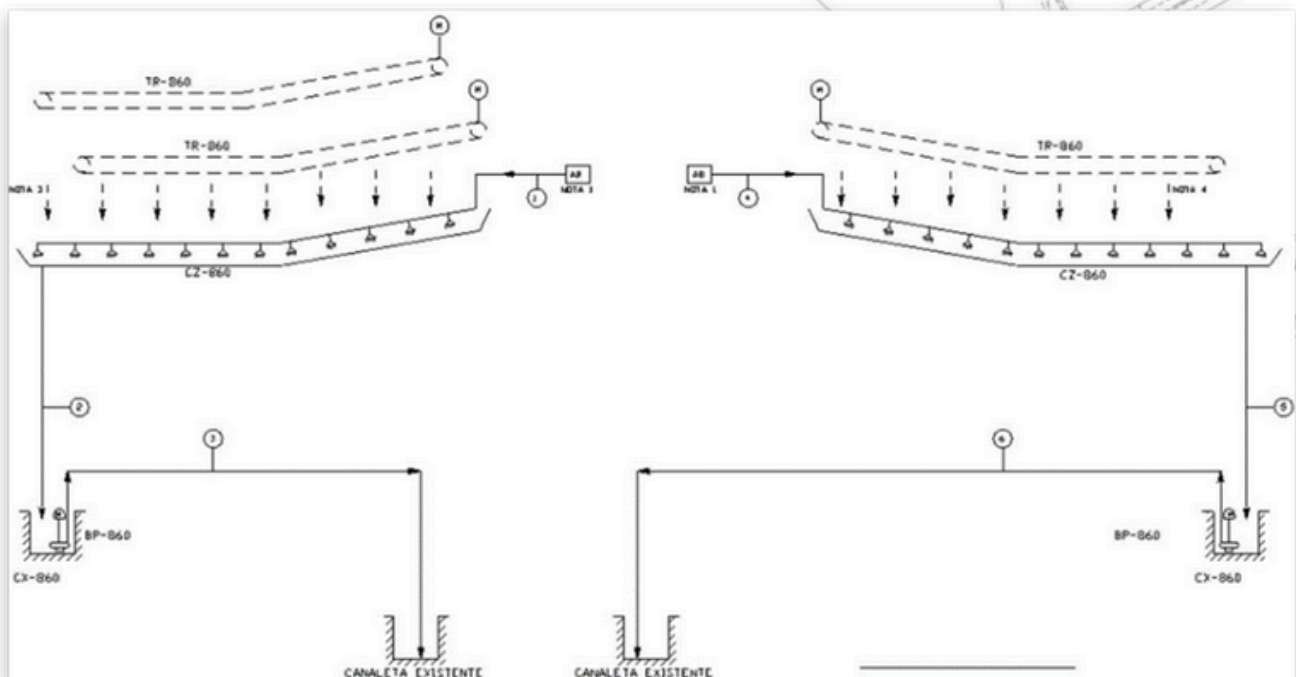
Reengenharia de chutes de transferência com aplicação do modelo Hood-Spoon – análise DEM.



Tapamento das casas de transferência para diminuição do fluxo de ar no seu interior - verificação estrutural devido ao acréscimo da carga de vento na estrutura.



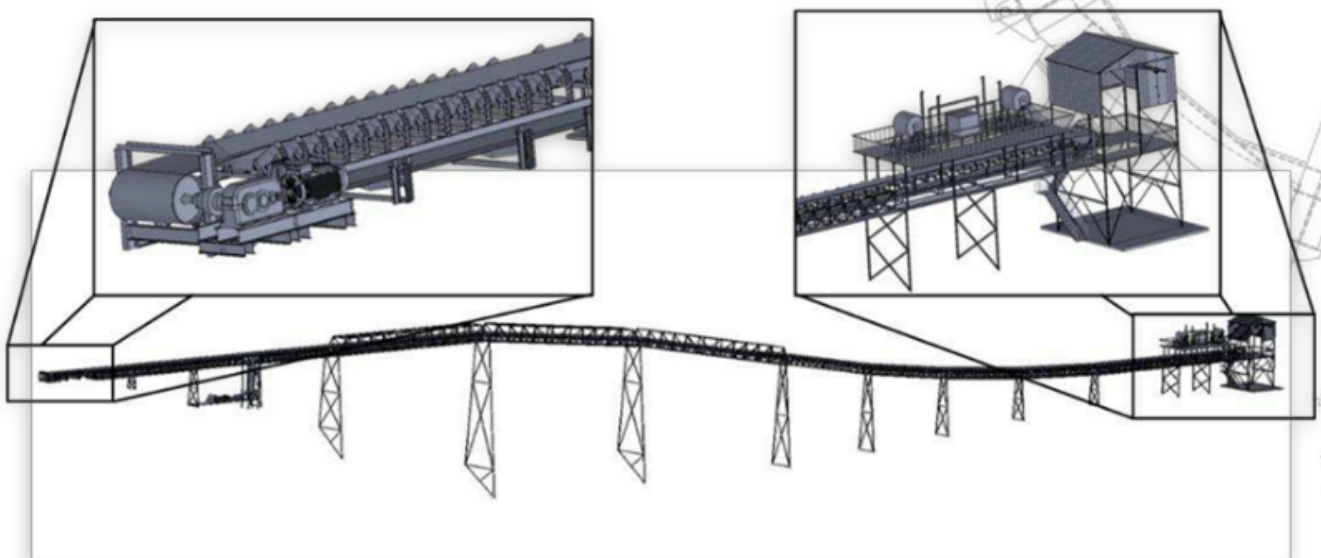
Projeto de sistemas de tubulações – elaboração de desenho técnico.



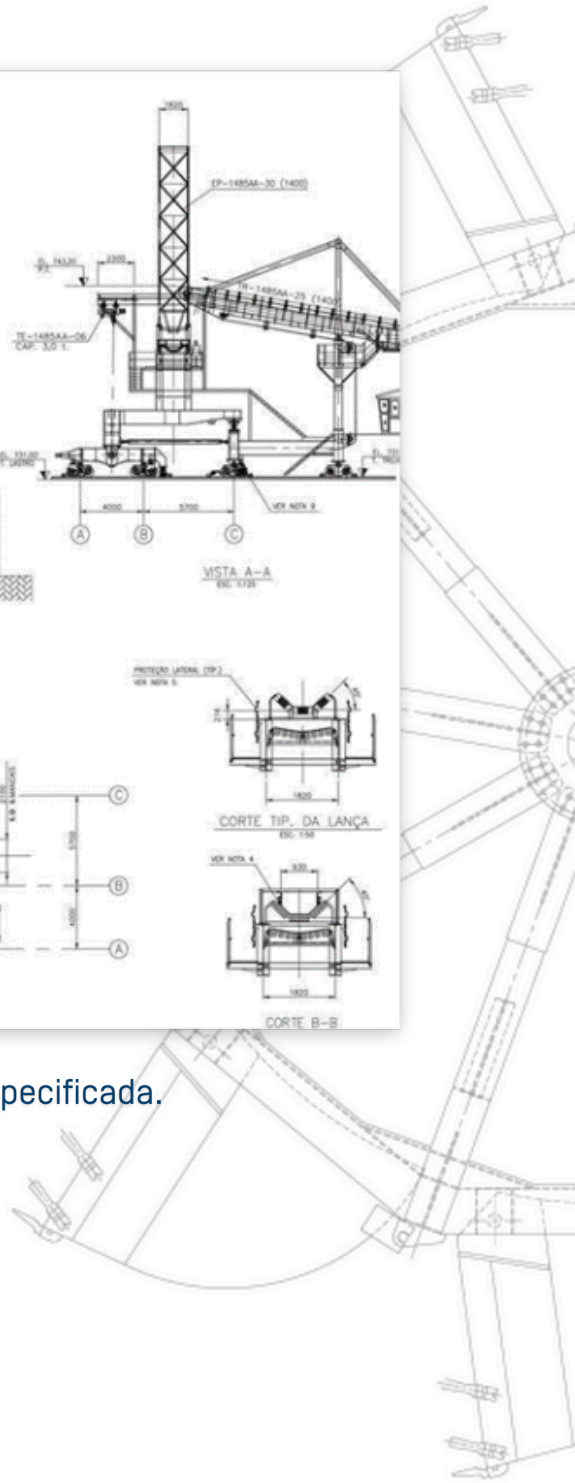
Fluxograma dos processos relativos à adição de calha fluidizada em transportadores de correia.

PROJETO BÁSICO (FEL3) DE LINHA TCLD

- Motivação da análise: Necessidade de transporte de material do procedimento de filtragem até o pátio para descomissionamento de barragem de rejeitos a montante, a fim de eliminar seu risco de colapso estrutural.
- Desenvolvimento: Avaliação do projeto conceitual (FEL2), trabalho conjunto da equipe de projeto e equipe de engenharia, dimensionamento e verificação mecânica dos transportadores de correia, especificação técnica de máquina de pátio, dimensionamento e verificação estrutural, elaboração de desenhos 2D e de CAD 3D.
- Resultados alcançados: Desenhos 2D, CAD 3D e especificação dos equipamentos descrevendo o projeto de forma precisa para serem utilizados na etapa de projeto executivo, permitindo o cálculo de seu orçamento e definição de escopo de forma assertiva.

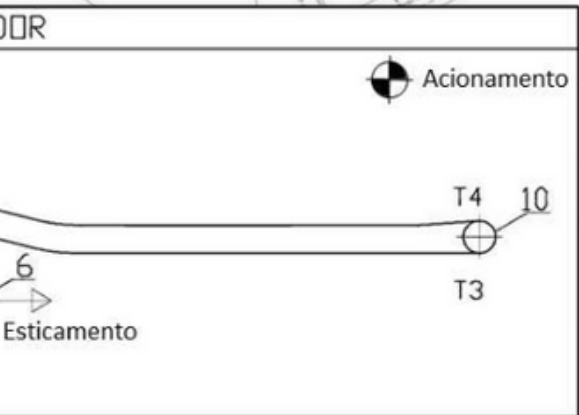


Modelagem 3D de um transportador componente da linha TCLD.

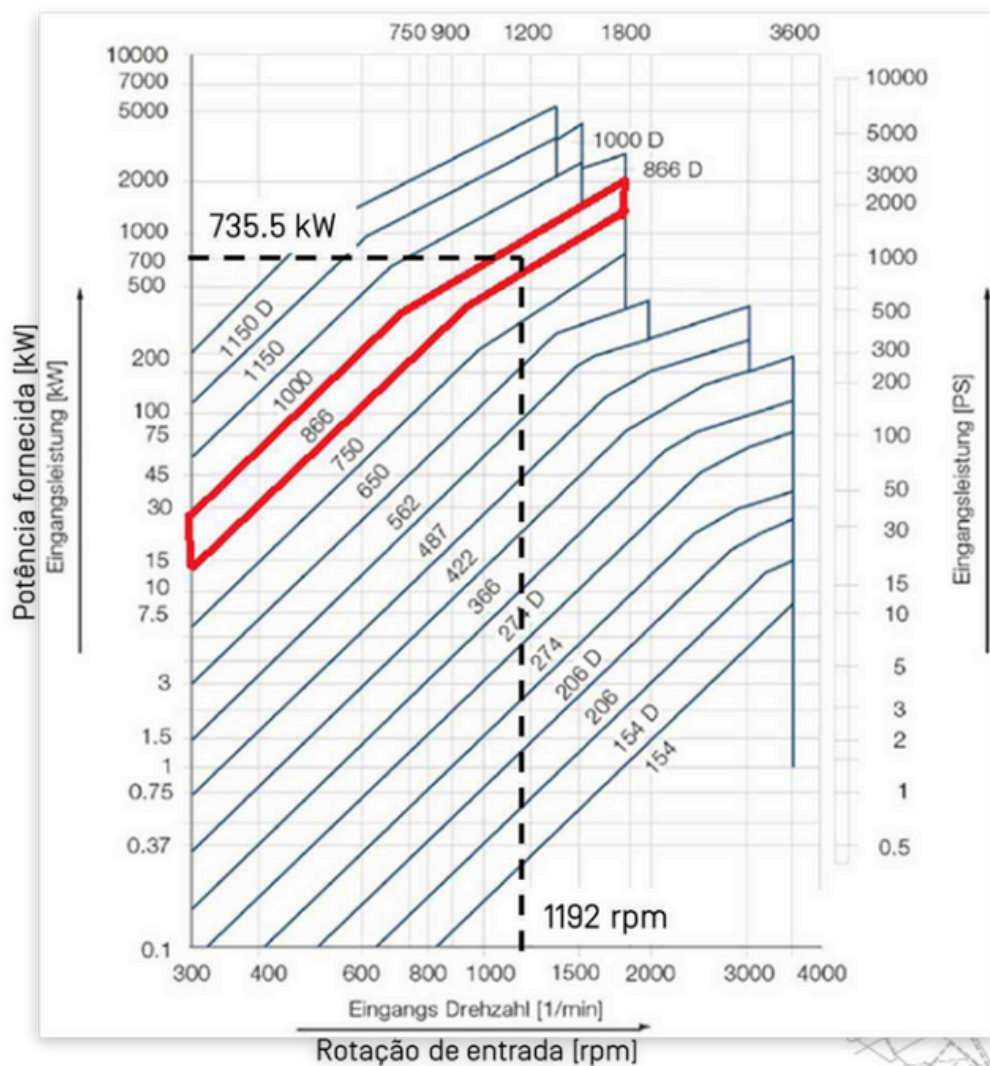


Desenho técnico da máquina de pátio especificada.

ANÁLISE MECÂNICA DE TRANSPORTADOR DE CORREIA DE PÁTIO DE MINÉRIO

- de Correia instalado em pátio de frente a partida quando carregado (abaixo da capacidade de projeto). A falha e elaborar proposta de dimensionamento dos motores e dos análise dinâmica da partida. Pico de torque requerido para na CEMA [Referência técnica de correia].
- A raiz da falha e apresentadas cações foram realizadas e o carga máxima de projeto sem
- 
- Diagrama de uma correia transportadora com uma seção transversal detalhada. A seção transversal mostra a correia com uma largura de 6 metros, esticada entre os pontos T3 e T4, com uma tensão de 10. Um símbolo de acionamento (seta com um círculo) indica a direção do movimento. Um pequeno diagrama de uma correia com uma curva é mostrado na parte inferior esquerda.





Curva de seleção de acoplamentos hidrodinâmicos.

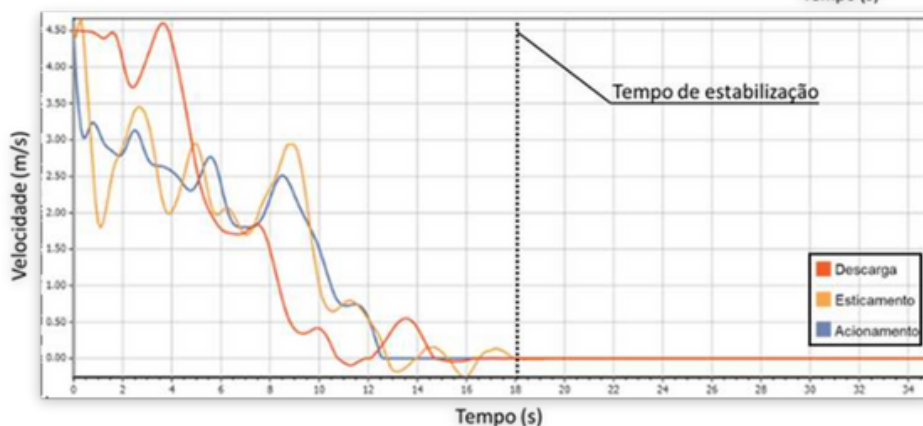
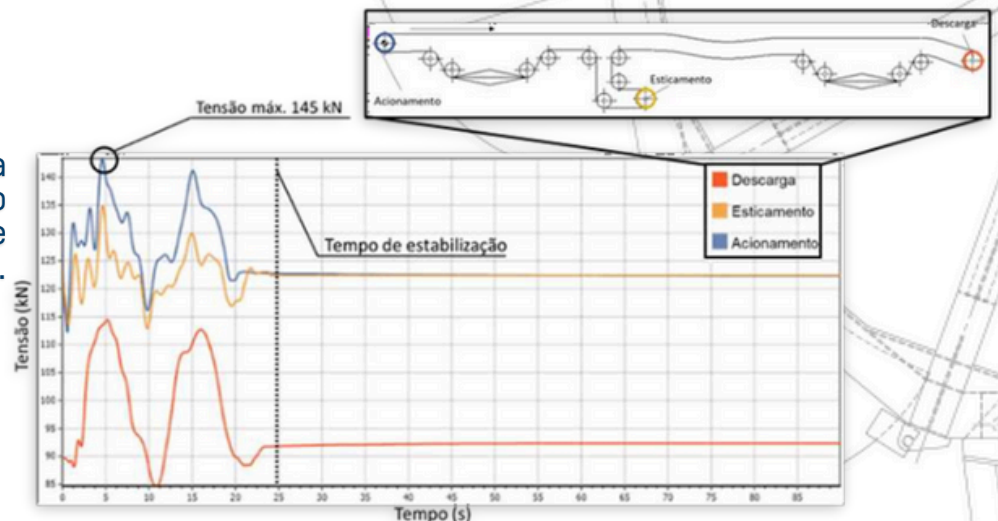


Novo acoplamento hidrodinâmico instalado.

ANÁLISE MECÂNICA DE TRANSPORTADOR DE CORREIA DE LONGA DISTÂNCIA [TCLD]

- Motivação da análise: Dimensionamento dos componentes mecânicos de um TCLD para estabelecimento de linha para manuseio de rejeitos provenientes de descomissionamento de barragem.
- Desenvolvimento: Estudo do comportamento transiente do transportador via análise dinâmica, dimensionamento do sistema de acionamento, estudo da trajetória do material baseado em critérios definidos na CEMA [Referência técnica para especificações de transportadores de correia].
- Resultados alcançados: Especificações dos equipamentos mecânicos determinadas de modo a garantir o funcionamento do TCLD conforme as características operacionais desejadas, fornecendo direcionamento para o projeto executivo e possibilitando cálculo refinado de seu CAPEX.

Tensões na correia do TCLD durante o transiente de parada.



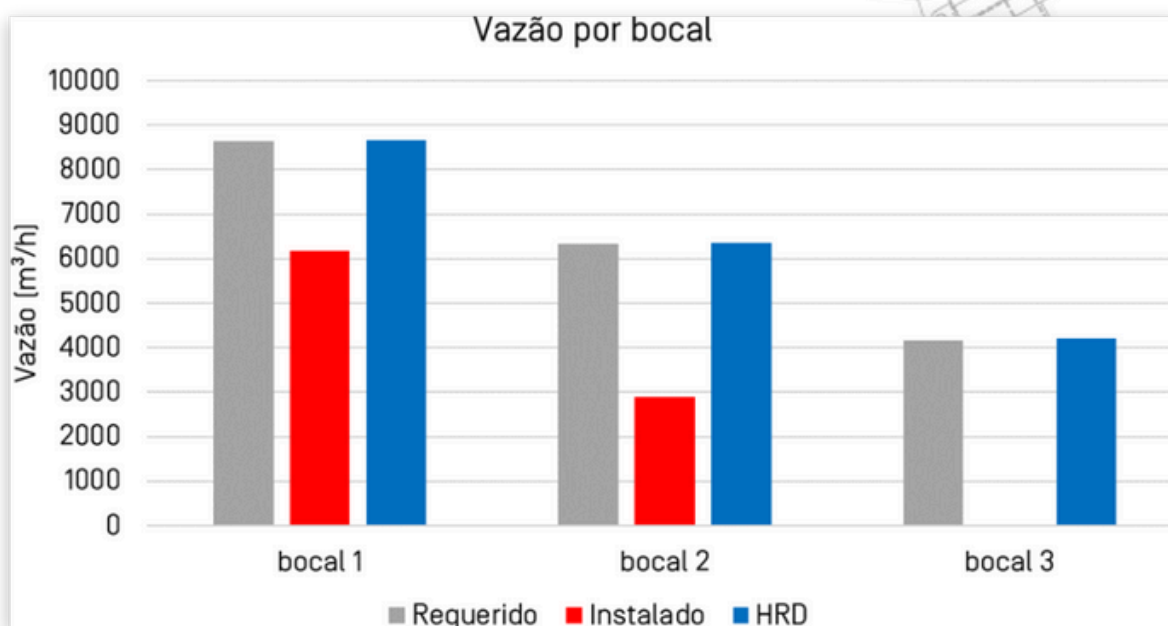
Velocidade da correia do TCLD durante o transiente de parada de emergência.

SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO

- Motivação da análise: Projetar novo sistema de despoeiramento de uma unidade de britagem primária para redução de particulados (sistema instalado ineficaz).
- Desenvolvimento: Projeto baseado no livro Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice [ACGIH, 1998] e nas normas NR-15, NBR12019, NBR 16101:2012, NBR 14679, ISO 10816-3 e BS 848.
- Resultados alcançados: Repotenciamento do sistema minimizando a presença de particulados suspensos.

	Sistema original	Projeto HRD	Unidade
Volume filtrado	7.920	16.000	Nm ³ /h
Velocidade de fluxo	17,8	25,0	m/s
Potência requerida	21,7	38,0	cv

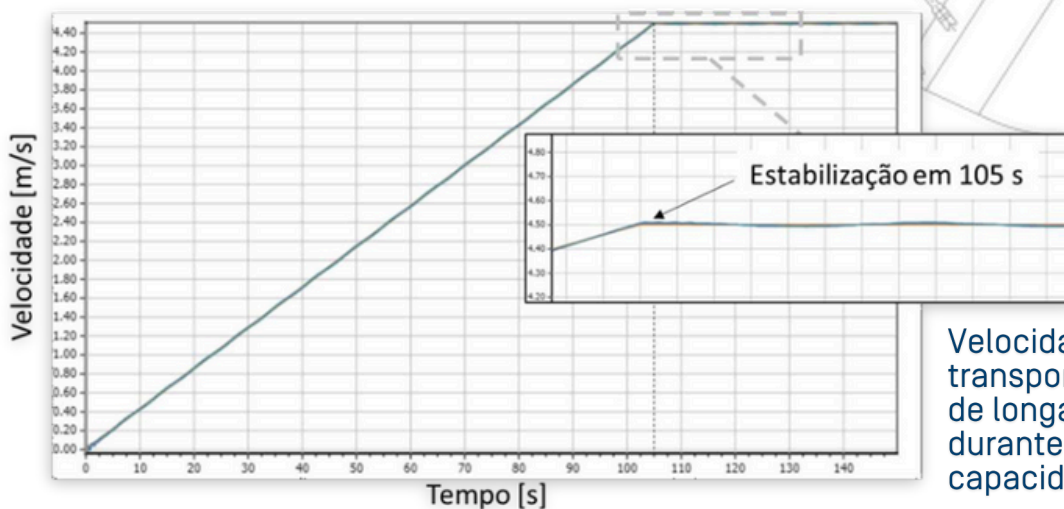
Comparativo dos sistemas de despoeiramento original e projeto HRD.



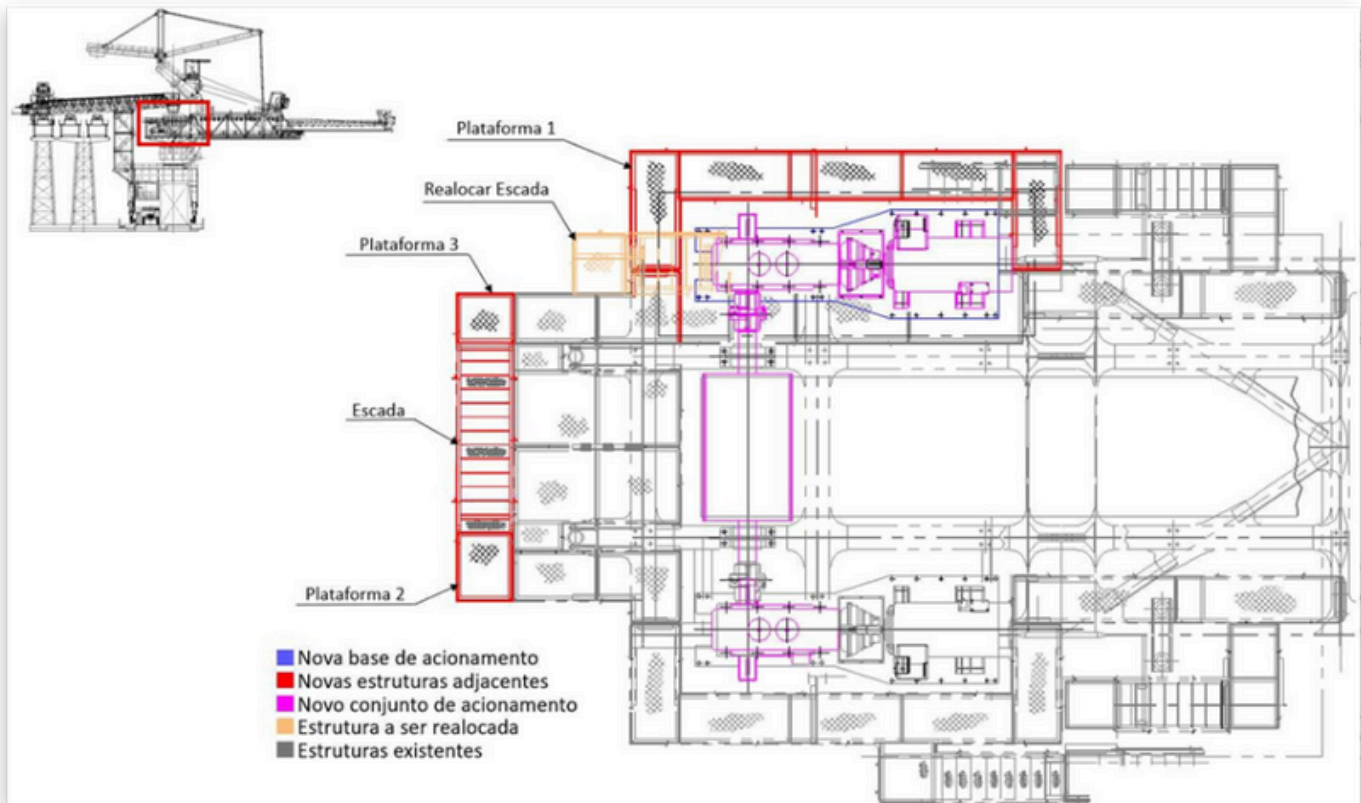
Comparativo entre as vazões por bocal do projeto original do sistema de despoeiramento e o novo projeto HRD.

PROJETO BÁSICO [FEL 3] – REPOTENCIAMENTO DE LINHA DE TRANSPORTADORES

- Motivação da análise: Repotenciamento da linha de transportadores de 10.000 t/h para 16.000 t/h [capacidade de projeto].
- Desenvolvimento: Realização de avaliação e validação do projeto conceitual, por meio da elaboração de um relatório de consolidação do projeto, verificação de grau de enchimento para as novas capacidades, verificação mecânica de todos os componentes dos transportadores, elaboração de desenhos 2D de arranjos contendo as modificações requeridas ao repotenciamento e de desenhos detalhando os novos componentes a serem instalados. Por fim, elaboração de toda a documentação técnica para requisição de serviços de engenharia, fornecimento e montagem das modificações requeridas para o repotenciamento.
- Resultados alcançados: Proposição de novos componentes mecânicos para substituição dos componentes inadequados às cargas de repotenciamento, a partir de desenhos 2D e documentação técnica requerida. Além disso, foi gerada documentação contendo as informações necessárias à execução do projeto detalhado, bem como fornecimento de insumos e indicação das análises a serem realizadas.



Velocidade da correia do transportador de correia de longa distância (TCLD) durante a partida com capacidade de projeto.



Modificação no conjunto de acionamento do transportador da Lança do Carregador de Navios.



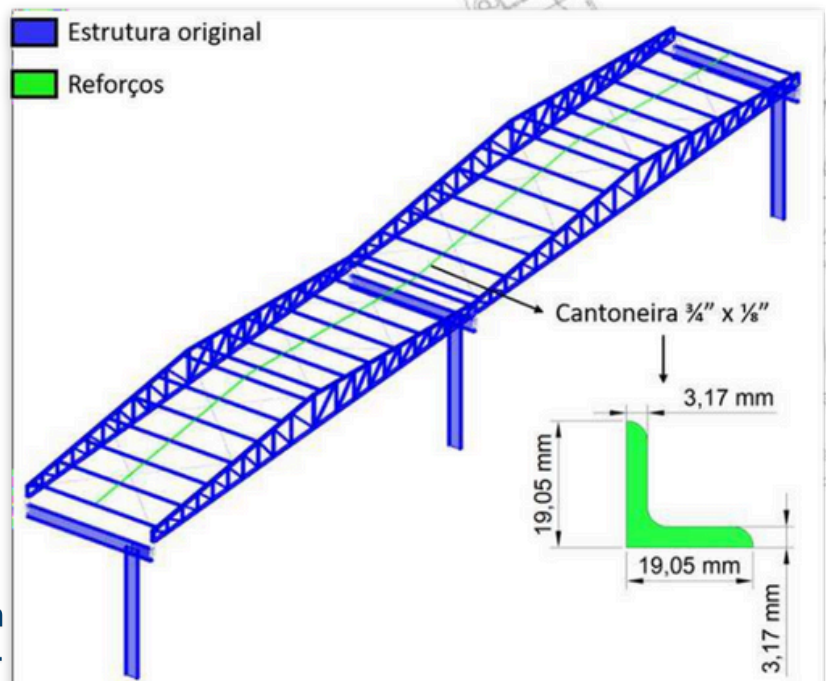
Índice de utilização das rodas do sistema de translação do transportador móvel.

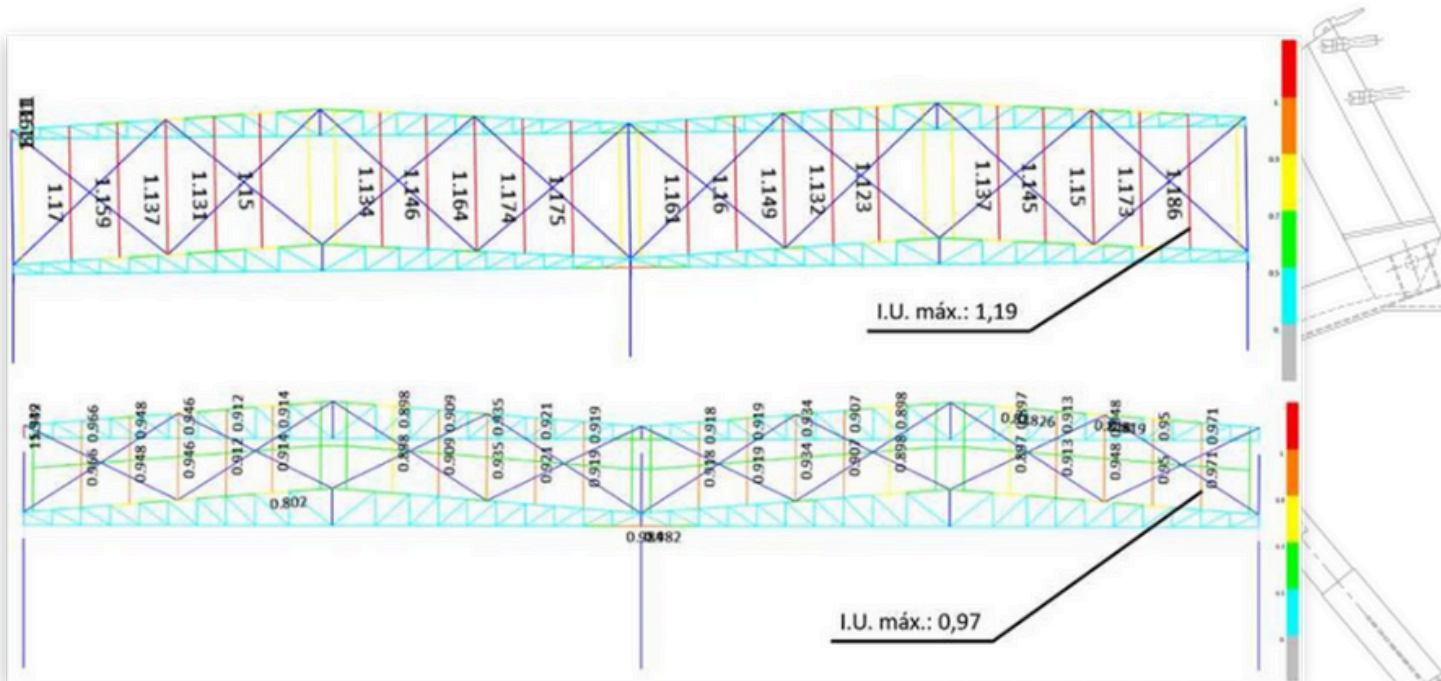
ESTUDOS DE CASO - PROJETOS ESTRUTURAS METÁLICAS

- Galpões metálicos;
- Píer de estrutura metálica;
- Linha de vida.

GALPÕES METÁLICOS

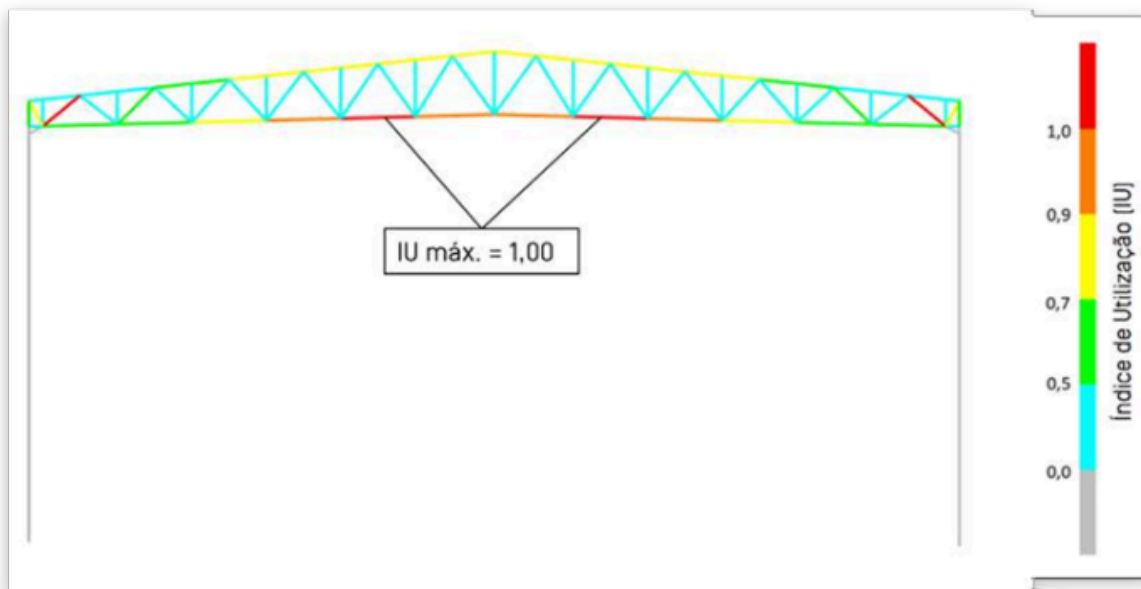
- Motivação da análise: Avaliação de integridade estrutural de galpões metálicos para carga adicional devido à instalação de painéis fotovoltaicos em sua cobertura.
- Desenvolvimento: Verificação dos perfis metálicos conforme normas NBR 8800, NBR 6123, NBR 6120, NBR 14762, AISI-96 e AISC-360-16.
- Resultados alcançados: Projeto para instalação de reforços para adequação da estrutura para instalação dos painéis, emissão de laudo técnico e registro de ART conforme determinações CREA / CONFEA.



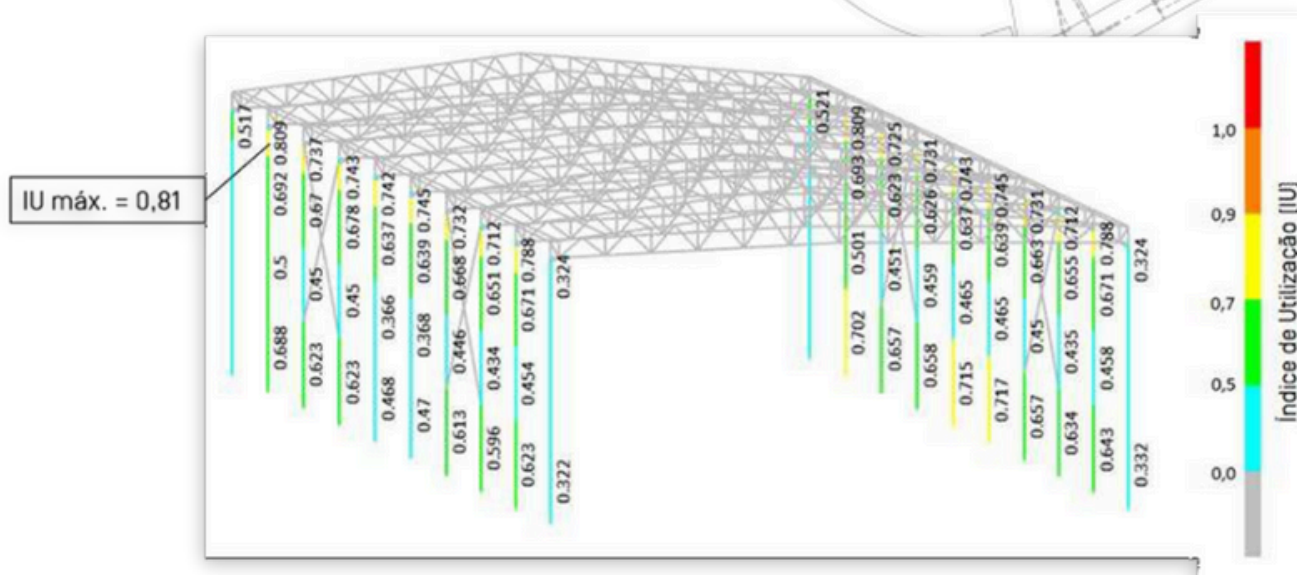


Comparativo dos perfis formados a frio do galpão
sem [acima] e com reforços [abaixo].

- Motivação da análise: Avaliar o dimensionamento estrutural do galpão e propor reajustes no projeto afim de possibilitar a redução de peso e adequação às exigências de norma.
- Desenvolvimento: Verificação dos perfis metálicos conforme normas NBR 8800, NBR 6123, NBR 6120, NBR 14762, AISI-96 e AISC-360-16.
- Resultados alcançados: Propostas alterações nos banzos das tesouras [originalmente reprovados] para adequação estrutural e redução de peso nas colunas respeitando-se os fatores de segurança mínimos requeridos por norma. A nova configuração proposta reduziu o peso em 2804 kgf e se encontra em conformidade estrutural.



Índice de Utilização – Tesoura modificada.

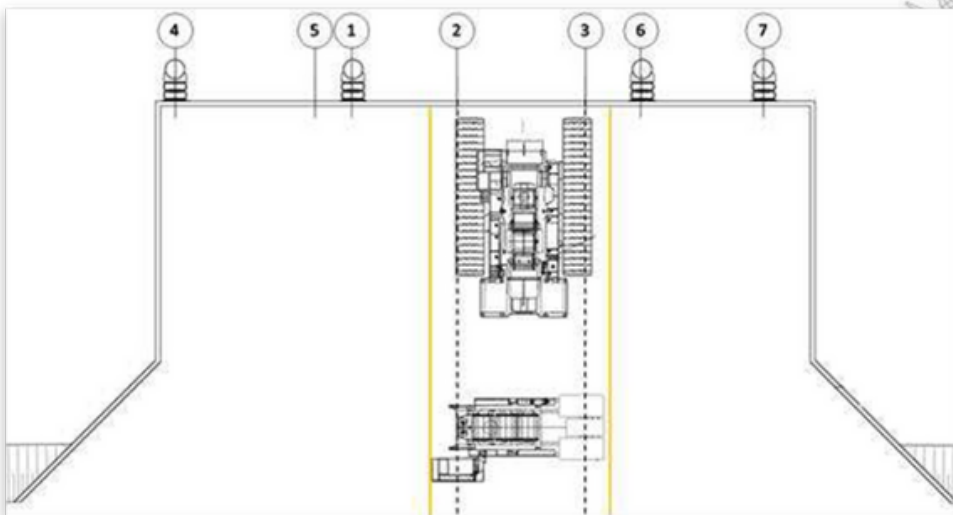
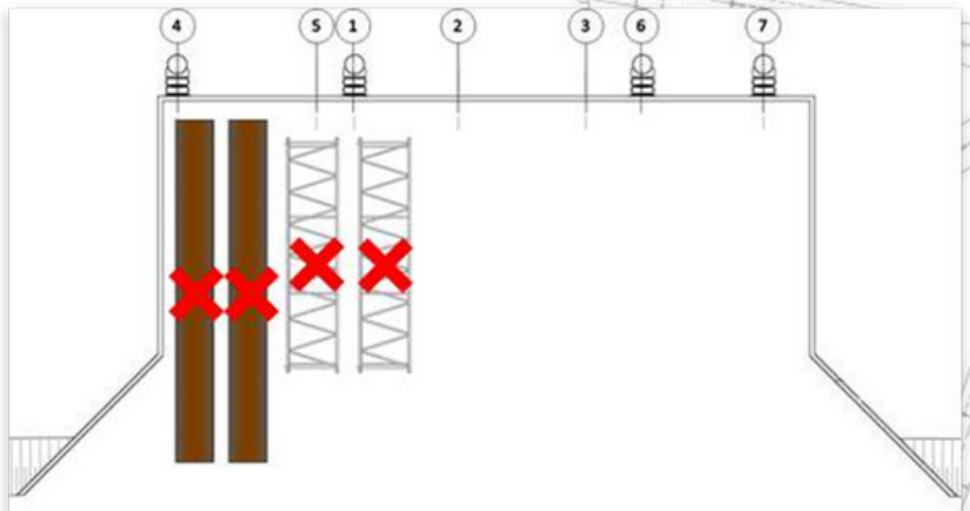


Índice de Utilização – Coluna modificada.

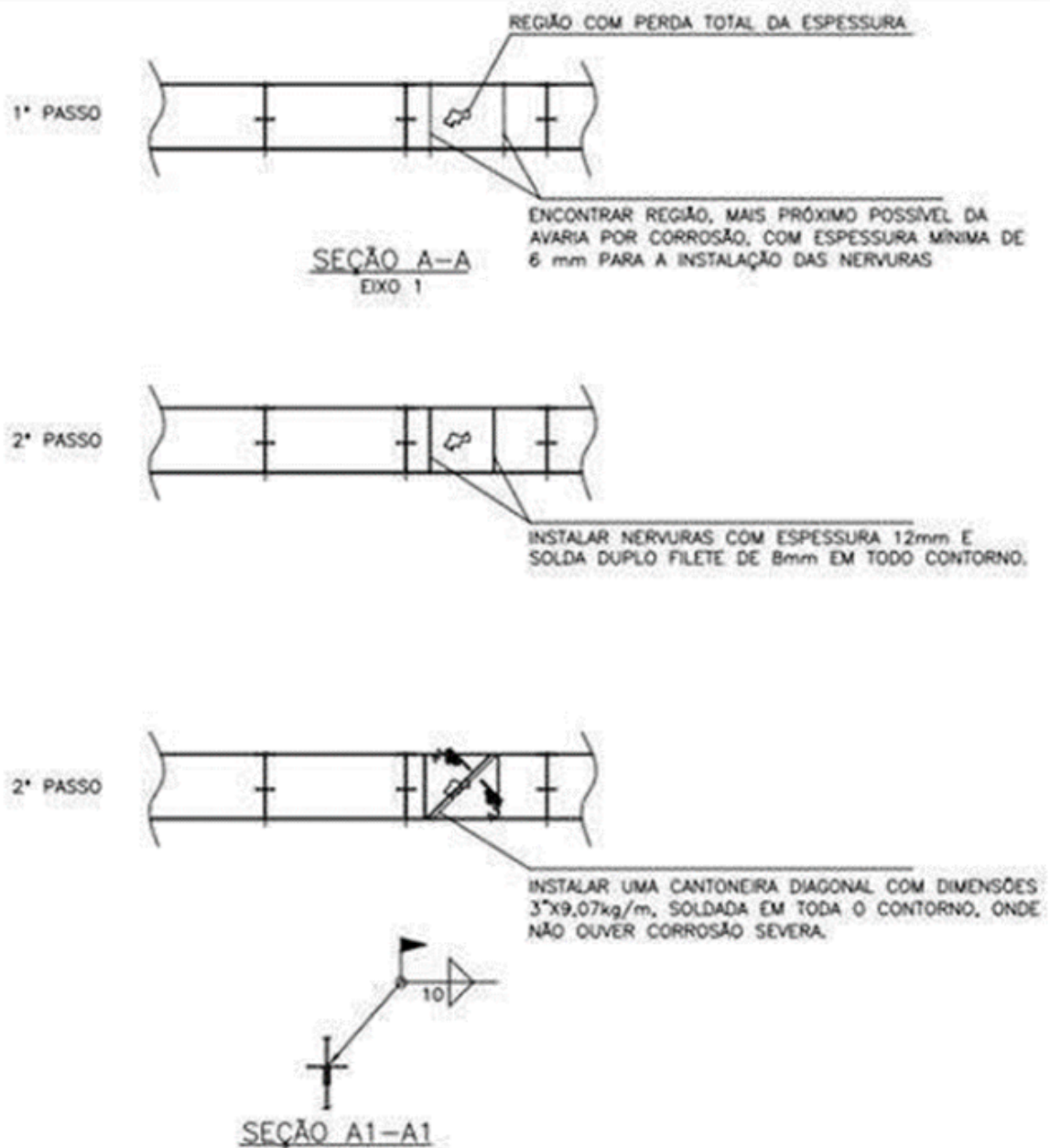
PÍER DE ESTRUTURA METÁLICA

- Motivação da análise: Avaliação de integridade estrutural de um píer com pontos de corrosão para viabilidade de plano de rigging proposto.
- Desenvolvimento: Cálculo de cargas de acordo com plano de rigging fornecido e verificação da estrutura considerando as medições de corrosão realizadas.
- Resultados alcançados: Novo procedimento de desembarque de cargas levando em conta resultados do estudo (reprovação da estrutura para plano original) e reforços propostos e procedimento de reparo de danos de corrosão para pontos críticos desenvolvidos.

Recomendação de remoção de sobrecarga na região crítica identificada na análise.



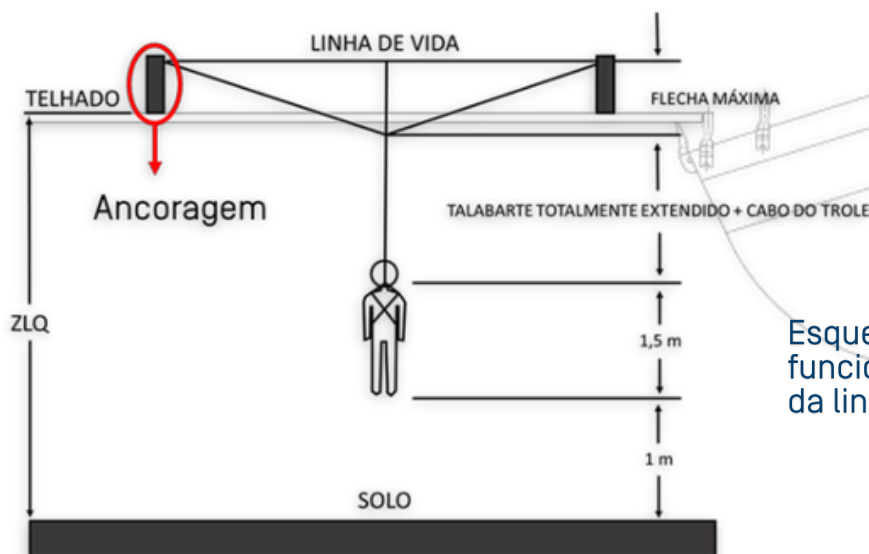
Limite de posicionamento do guindaste para operação do novo procedimento de desembarque



Procedimento de reparo nas almas de perfis danificados.

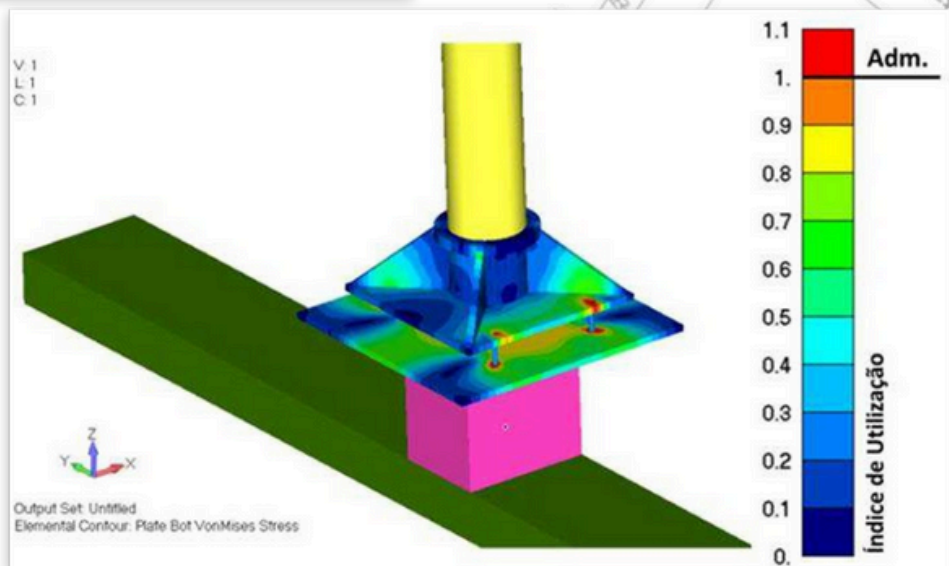
LINHA DE VIDA

- Motivação da análise: Projetar um dispositivo de linha de vida para garantir a segurança de um usuário em um possível acidente derivado de trabalho em altura.
- Desenvolvimento: Verificação e critérios de projeto com base nas normas NBR 16325 parte I e II, AISC 360-16, NBR 8800 e especificação do cabo de aço com base no manual técnico da CIMA F.
- Resultados alcançados: Detalhamento do projeto da linha de vida com emissão de memorial de cálculo atestando sua capacidade estrutural.



Esquema de funcionamento da linha de vida.

Resultado da análise estática do ponto de ancoragem do sistema de linha de vida.



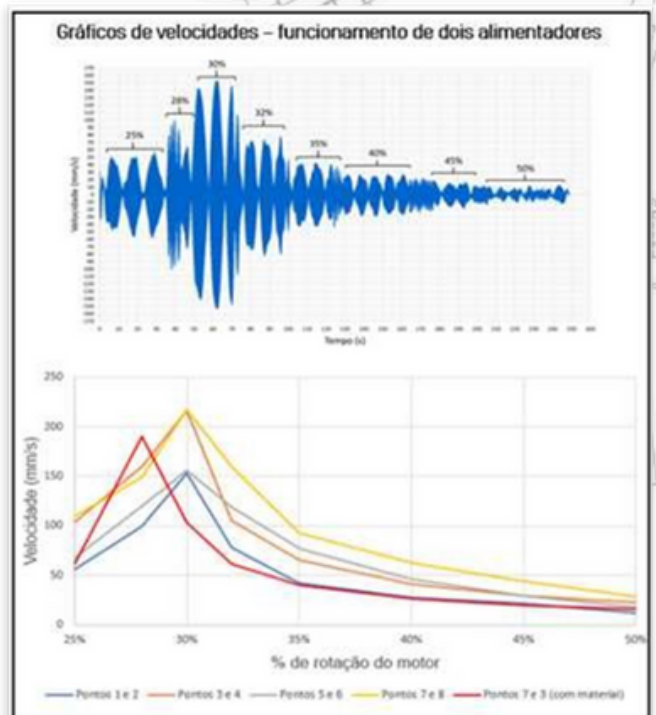
ESTUDOS DE CASO - ANÁLISE EXPERIMENTAL EXTENSOMETRIA E VIBRAÇÃO

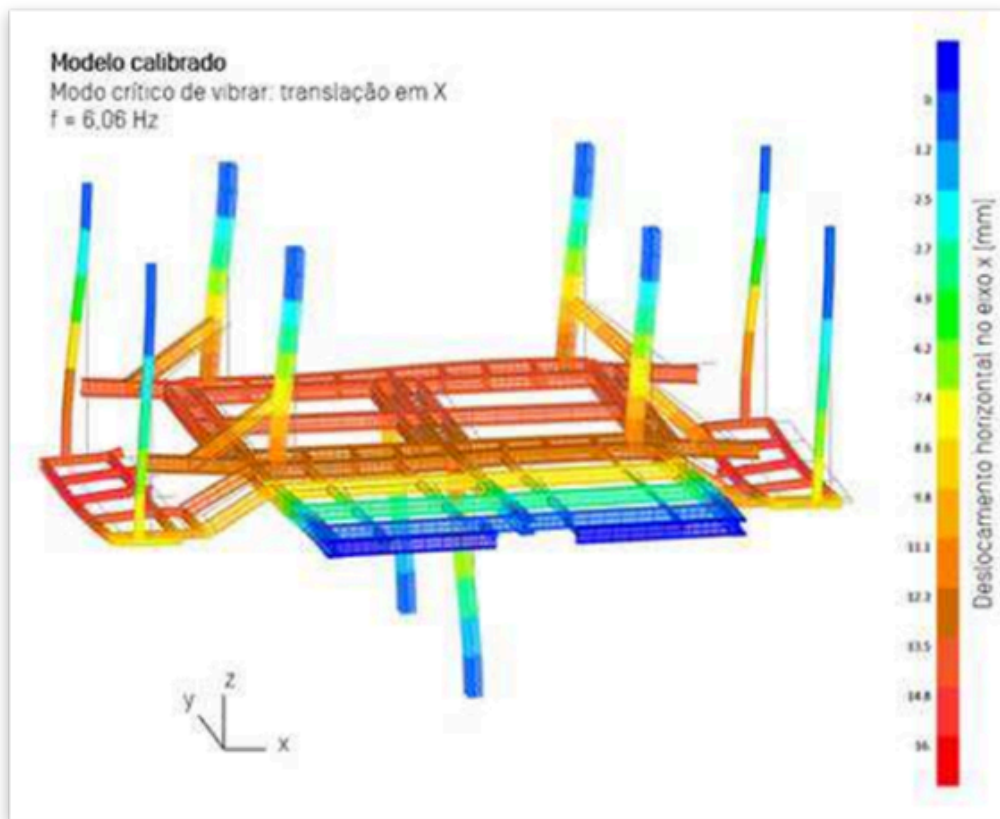
- Acelerometria e análise dinâmica de um mezanino;
- Análise experimental: Britador de mandíbula.

ACCELEROMETRIA E ANÁLISE DINÂMICA DE UM MEZANINO

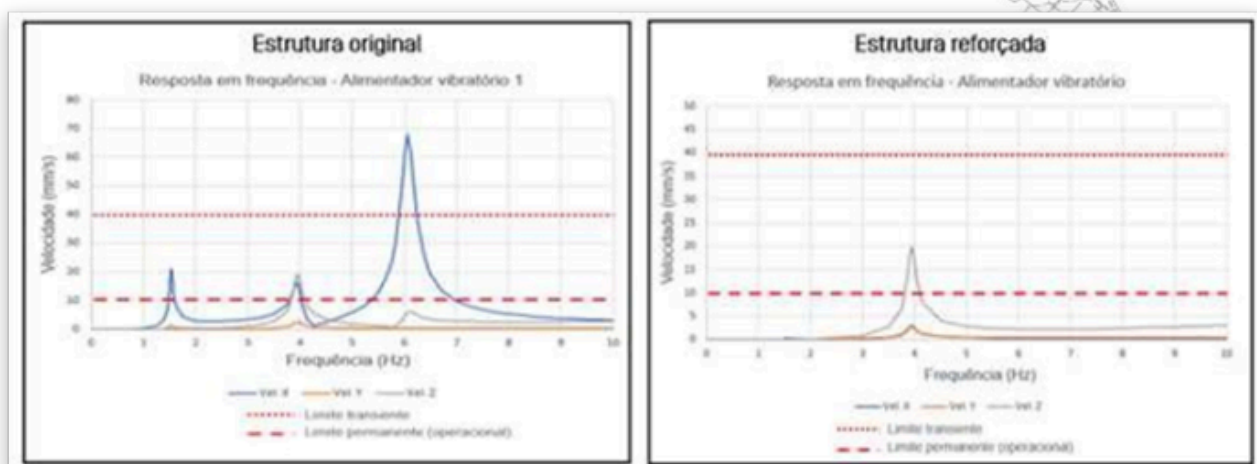
- Motivação da análise: Modificações no material utilizado na planta levaram à necessidade de operação com dois alimentadores vibratórios funcionando simultaneamente, o que gerou vibração em excesso na estrutura de suporte e consequente comprometimento estrutural, como aparecimento de trincas, além de desconforto aos usuários.
- Desenvolvimento: Acelerometria em pontos da estrutura metálica e dos equipamentos, tratamento de dados e uso do método de elementos finitos para modelagem da estrutura, análise dinâmica segundo limites previsto na DIN 4150-3 e análise estrutural em conformidade com a NBR 6120, NBR 8800, NBR 6123 e AISC 360-16.
- Resultados alcançados: Redução dos níveis de vibração da estrutura para valores conformes através da proposição de reforços, garantindo a integridade estrutural do mezanino e melhoria do conforto para os usuários, além da manutenção da produtividade com o funcionamento seguro e eficiente dos dois alimentadores.

Gráficos de velocidades da estrutura obtidos através da acelerometria.





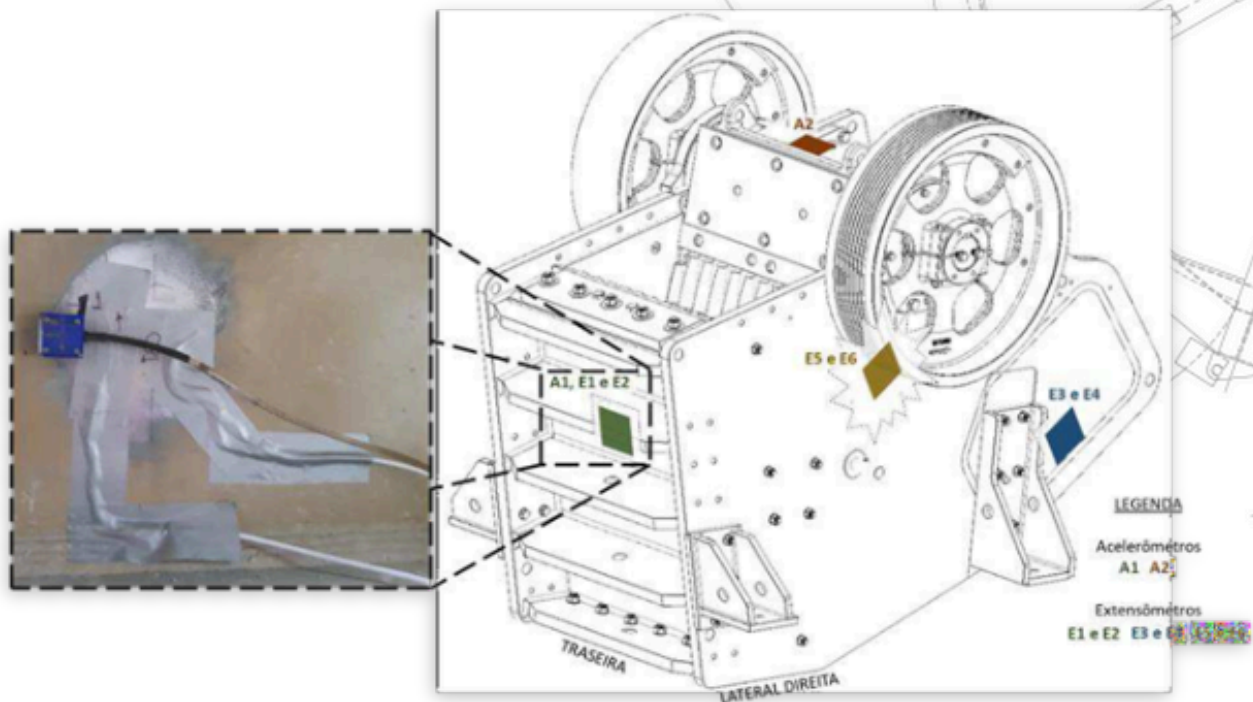
Resultado da análise modal do mezanino original, obtido através da calibração do modelo com os dados coletados.



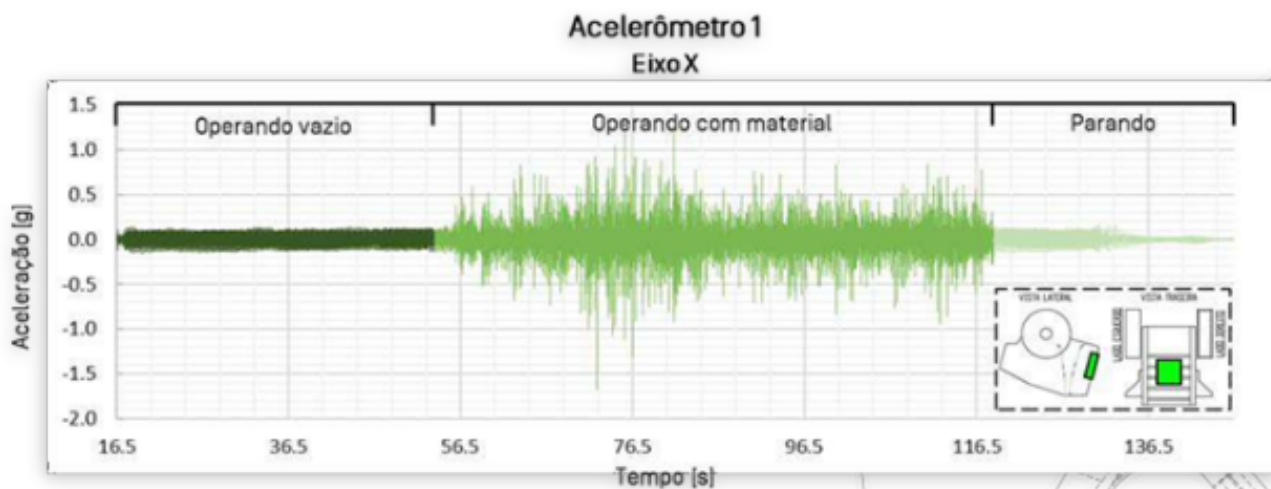
Análise de resposta em frequência para a estrutura do mezanino.

ANÁLISE EXPERIMENTAL: BRITADOR DE MANDÍBULA

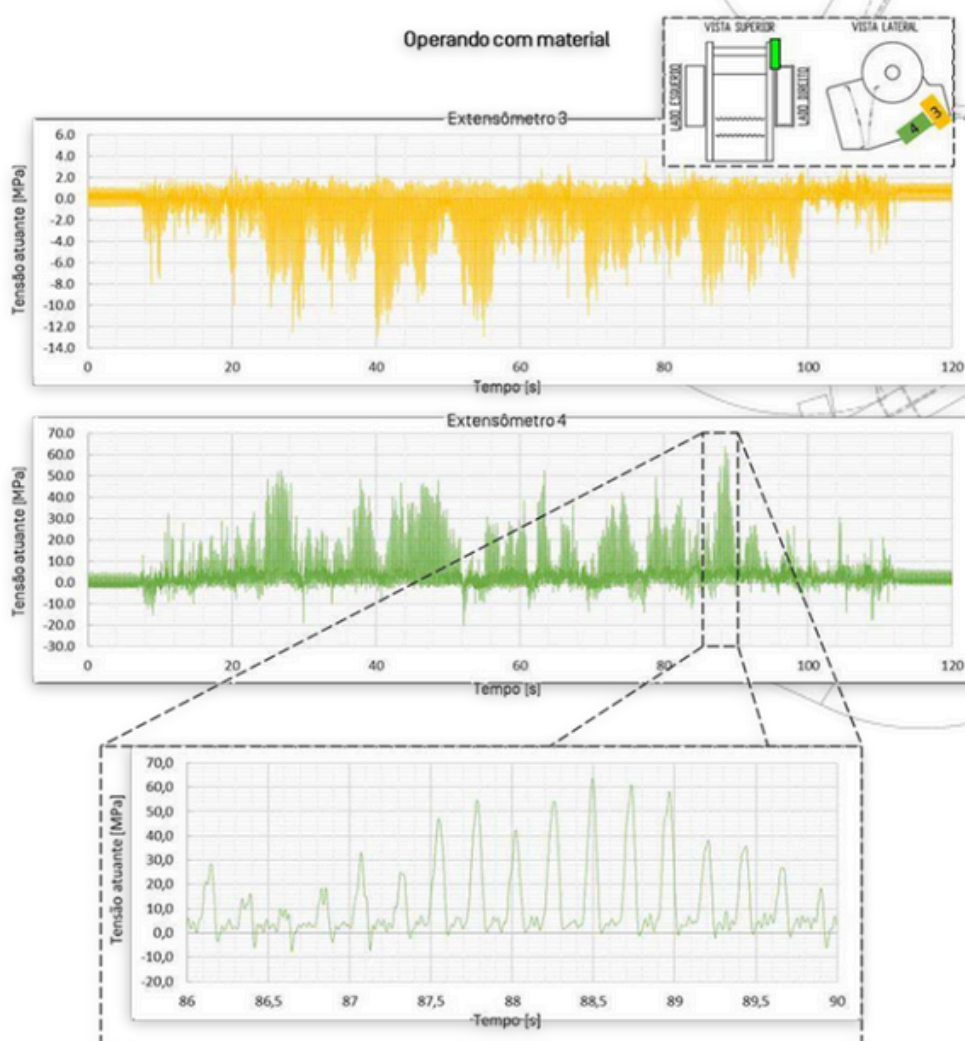
- Motivação da análise: Detecção de trincas recorrentes na carcaça do britador de mandíbula levando a indisponibilidade e sucateamento do equipamento, indicou a necessidade de se investigar a condição real de operação do equipamento in loco.
- Desenvolvimento: Elaboração de procedimentos de medição, instrumentação do britador e execução de medições utilizando extensômetros e acelerômetros.
- Resultados alcançados: Definição da condição real de operação do equipamento e apresentação de parecer técnico do projeto original pela comparação das cargas e efeitos dinâmicos esperados com os medidos.



Locais de instalação dos extensômetros e acelerômetros no britador.



Aceleração do eixo X do acelerômetro 1 das medições do britador.



Tensão calculada a partir da medição de deformação dos extensômetros 3 e 4 para operação do britador com capacidade nominal de material.

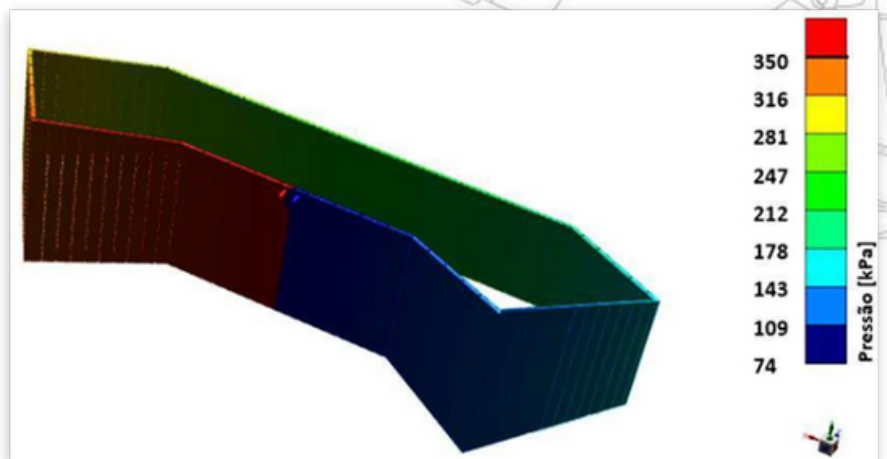
ESTUDOS DE CASO - ANÁLISE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL CFD

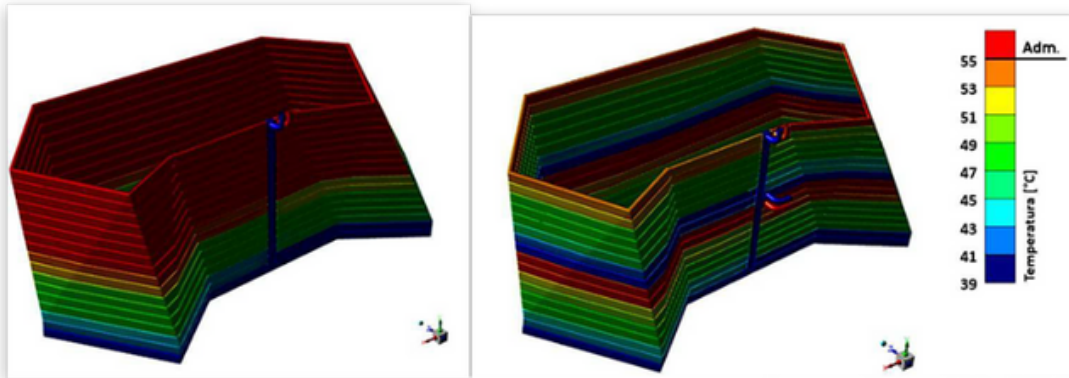
- Análise CFD dos módulos de refrigeração dos gases a alta temperatura;
- Análise CFD dos efeitos do vento em regime permanente sobre o rastreador solar;
- Recuperadora de minério.

ANÁLISE CFD DOS MÓDULOS DE REFRIGERAÇÃO DOS GASES A ALTA TEMPERATURA

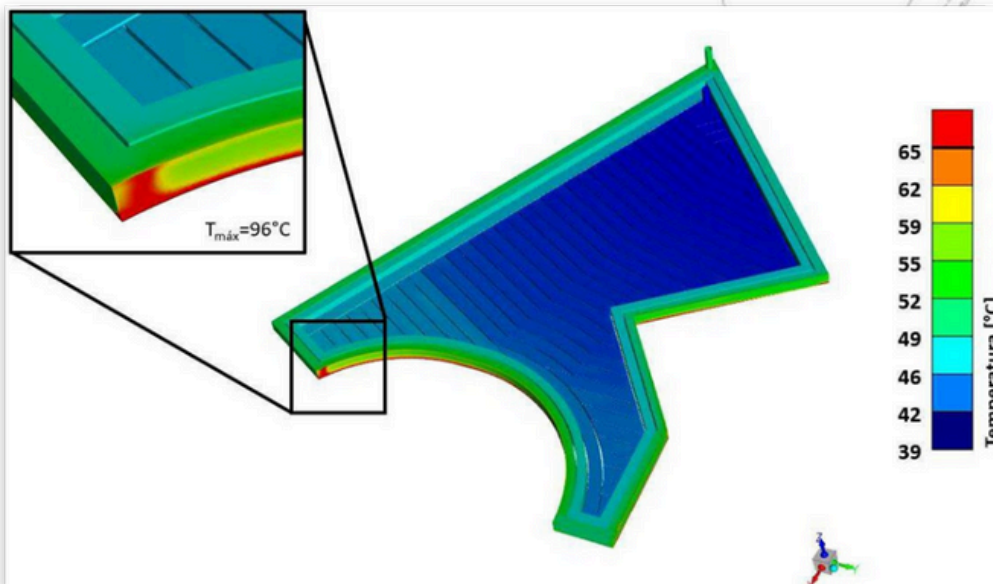
- Motivação da análise: Validar a geometria proposta e parâmetros da água dos módulos de refrigeração de uma chaminé de alto forno.
- Desenvolvimento: Realização de análises termofluidodinâmicas das coifas e chaminés. Mapeamento do comportamento térmico dos módulos e avaliação do desempenho do fluido refrigerante. Proposição de adequações e melhorias na eficácia do processo de refrigeração, tais como adaptações geométricas, subdivisão de módulos e redução localizada da vazão do fluido.
- Resultados alcançados: Sistema de refrigeração funcional e seguro, adequação do consumo de água necessário para cada módulo conforme a solicitação e a geometria, eficácia durante o funcionamento dos fornos.

Necessidade de reavaliação do sistema de pressão de água: variação de pressão de 78,7% – módulo 4 da chaminé.

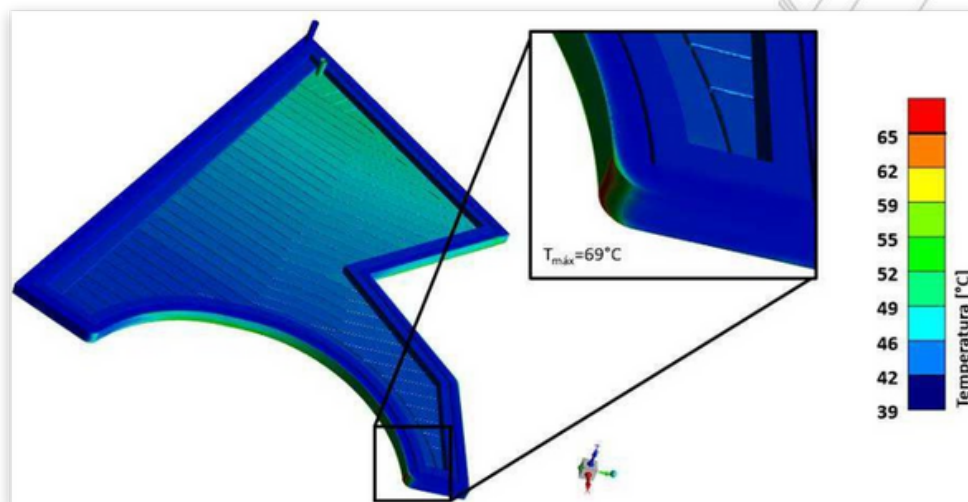




Distribuição de temperatura da água: proposta de melhoria através de 2 fluxos de água independentes – módulo 1 da chaminé.



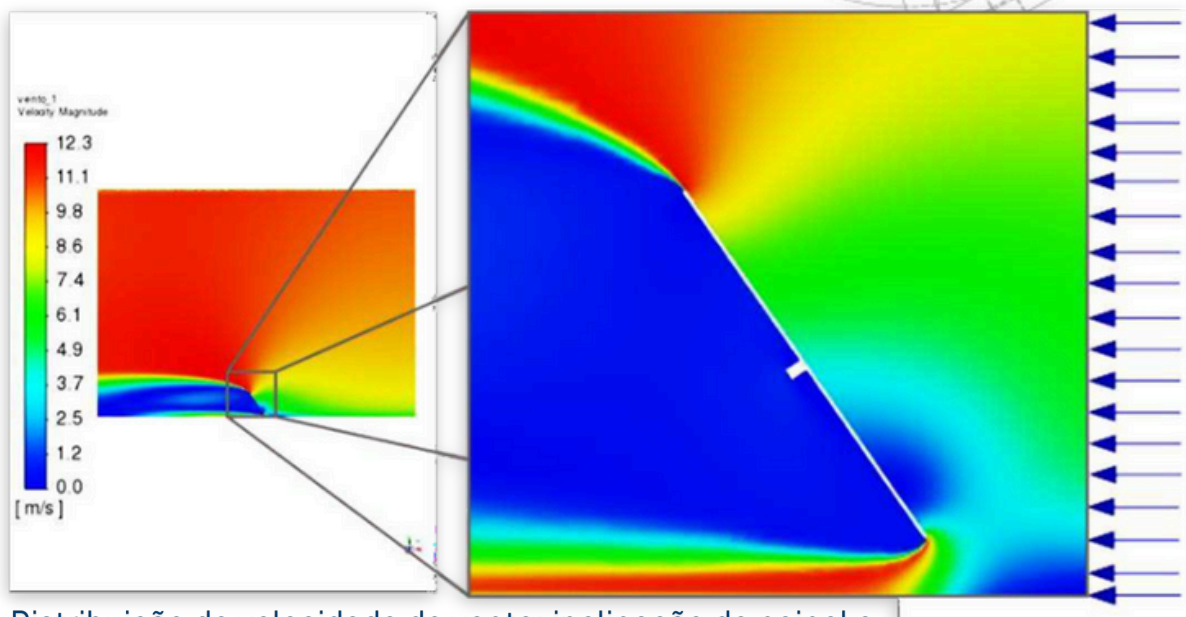
Distribuição de temperatura da água – módulo 2 da coifa



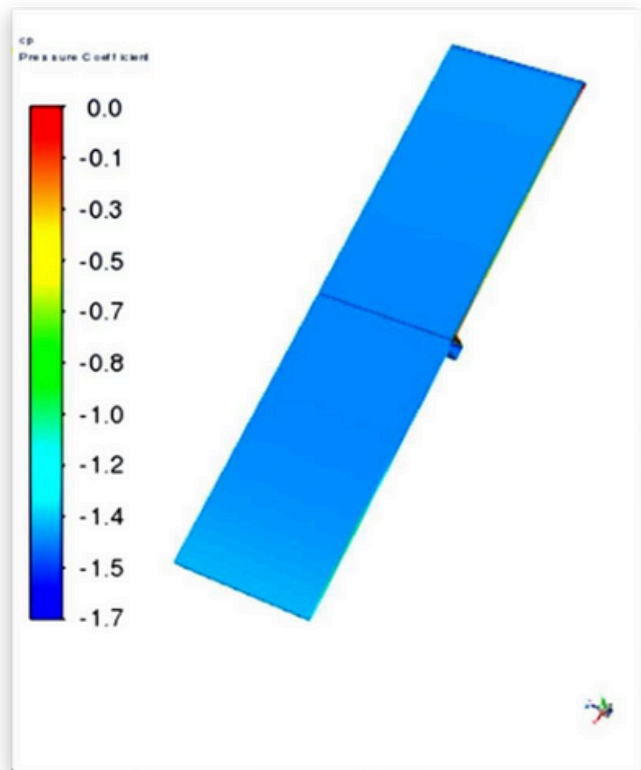
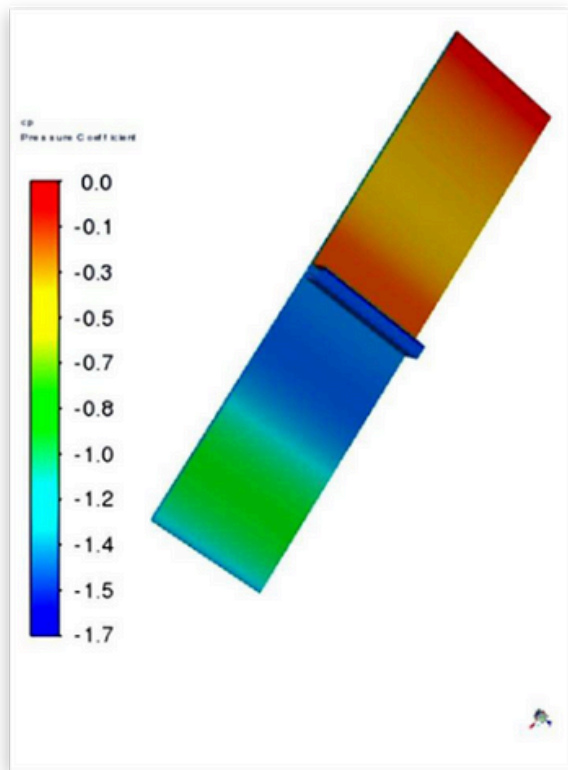
Distribuição de temperatura da água após inversão do fluxo de água e suavização das quinas – módulo 2 da coifa.

ANÁLISE CFD DOS EFEITOS DO VENTO EM REGIME PERMANENTE SOBRE O RASTREADOR SOLAR

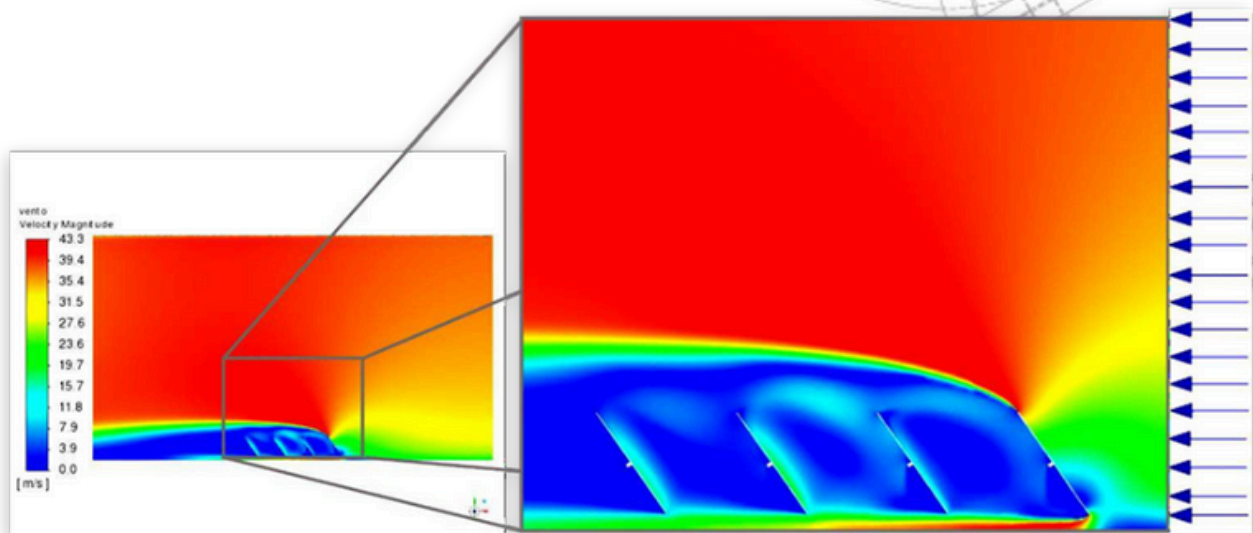
- Motivação da análise: Um dos maiores pontos de atenção durante o projeto de rastreadores solares é a garantia de sua integridade quando sob o efeito de rajadas de vento. É de extrema importância a adequação do projeto de forma a garantir sua funcionalidade e integridade durante e após estes eventos.
- Desenvolvimento: Realização de análises fluidodinâmicas. Aplicação do perfil de velocidade variável com a altura em relação ao solo. Obtenção das forças resultantes, coeficientes de momento e pressão para os ângulos de inclinação dos painéis - de -55° a 55° - e diferentes velocidades básicas do vento. Consideração da influência de rastreadores em série.
- Resultados alcançados: Projeto do rastreador solar confiável do ponto de vista mecânico-estrutural e adaptado para solicitações de vento diversas.



Distribuição de velocidade do vento: inclinação do painel a 55° , velocidade básica de 10m/s, incidência de vento a 0° .



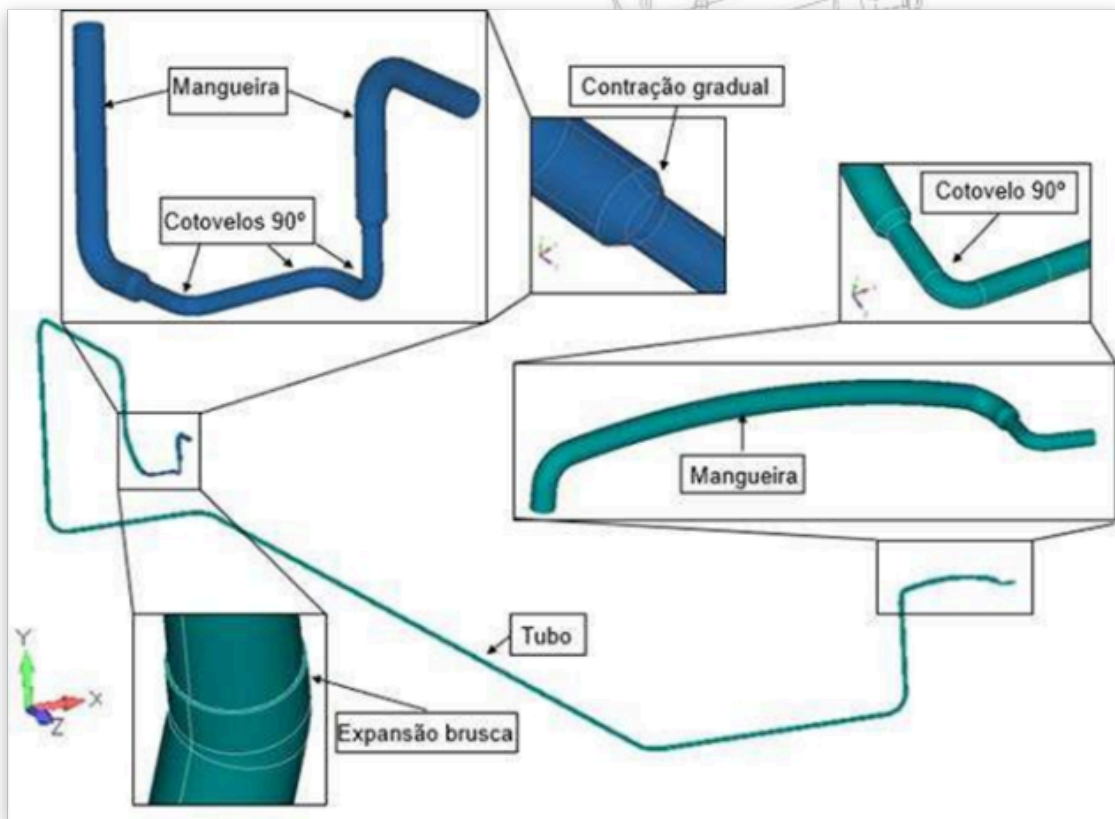
Coeficiente de pressão na superfície do painel a 15°, vento com velocidade básica de 10m/s, incidência de vento a 180°.



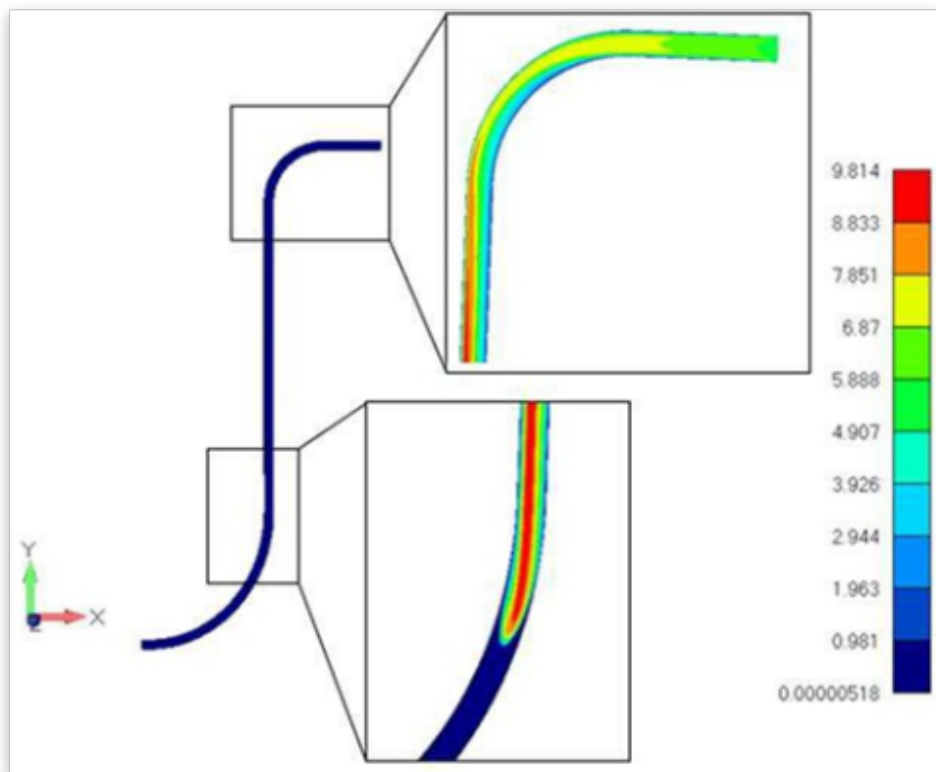
Distribuição de velocidade do vento: inclinação do painel a 55°, velocidade básica de 35m/s, série de 4 painéis, incidência de vento a 0°.

RECUPERADORA DE MINÉRIO

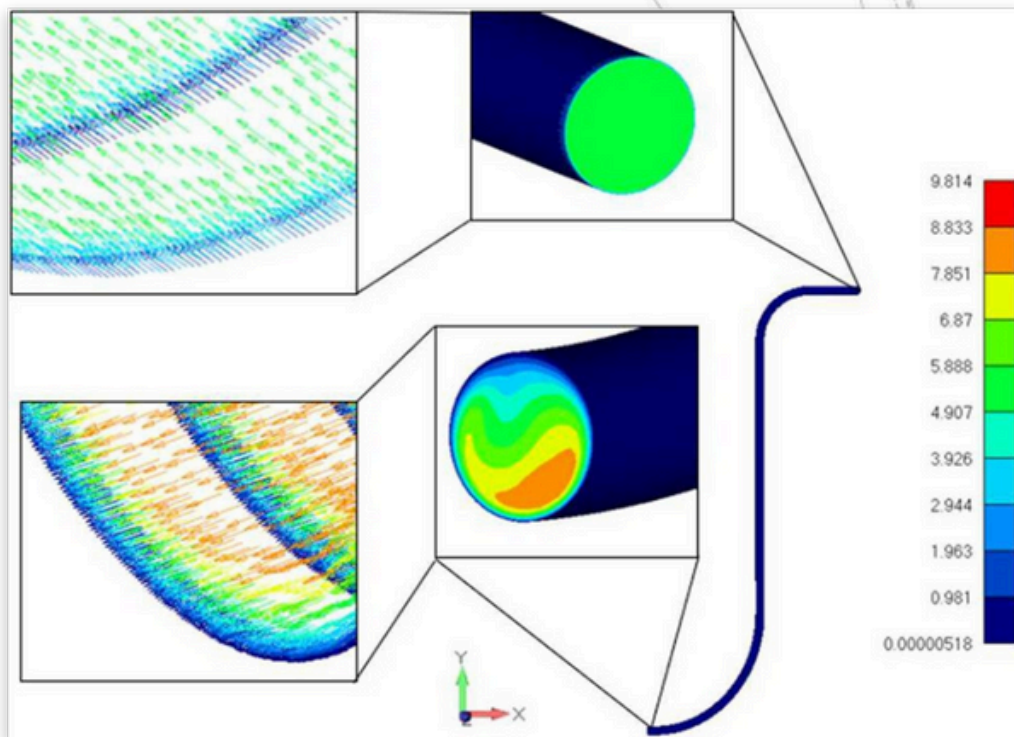
- Motivação da análise: Reprojetado da tubulação de retorno e refrigeração de um sistema de acionamento hidráulico que apresentava elevada pressão de saída no cooler e com histórico de falha em campo.
- Desenvolvimento: Novo projeto de tubulação reduzindo perda de carga em mais de 50%, solucionando o problema e aumentando a eficiência do sistema.
- Resultados alcançados: Projeto do rastreador solar confiável do ponto de vista mecânico-estrutural e adaptado para solicitações de vento diversas.



Simulação CFD de regiões críticas [onde cálculo teórico não é bem representativo] do caminho de tubulação do óleo para o sistema original e caminho alternativo (by-pass) proposto em campo.

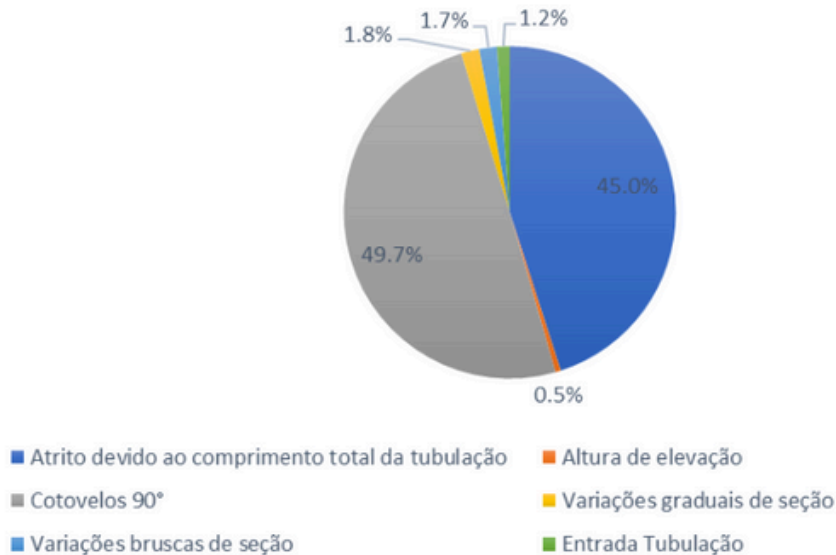


Detalhe do perfil de velocidades nas curvas [m/s].



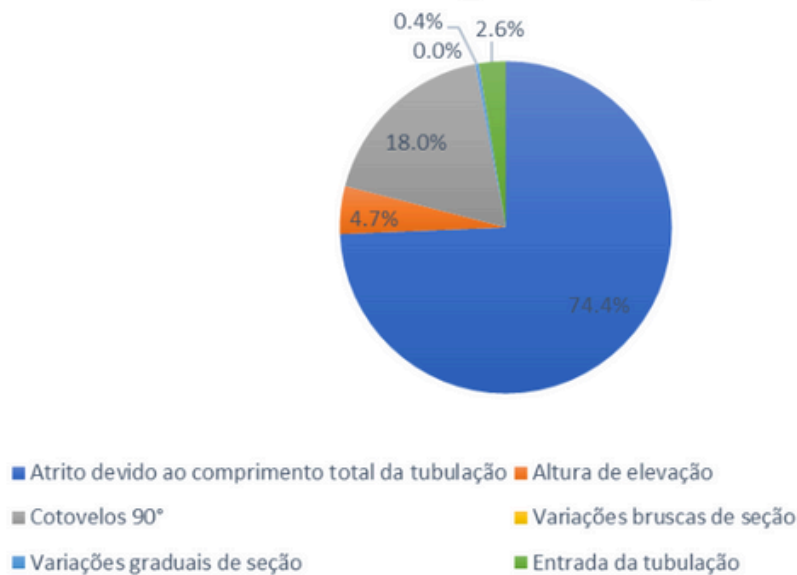
Perfil de velocidade do fluido nas seções de entrada de saída.

Perda de carga - Tubulação original



Porcentagem da perda de carga por região na tubulação original.

Perda de carga - Novo Projeto



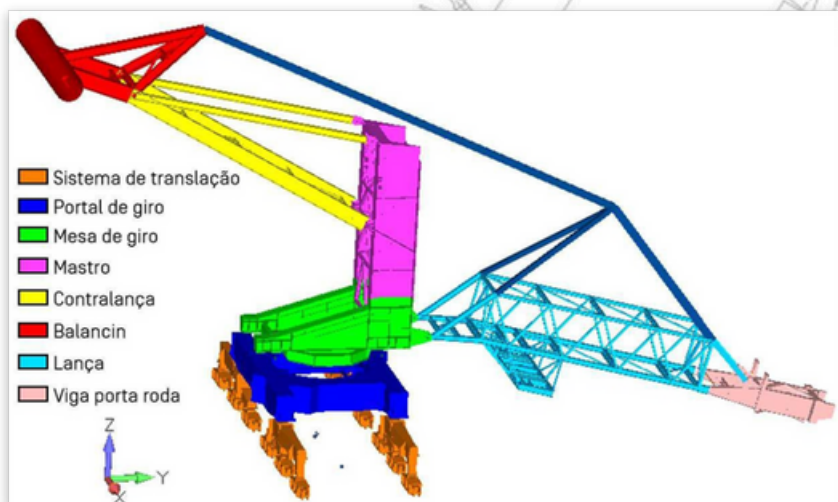
Porcentagem da perda de carga por região no novo projeto.

ESTUDOS DE CASO - PLANOS EXECUTIVOS E ACOMPANHAMENTO

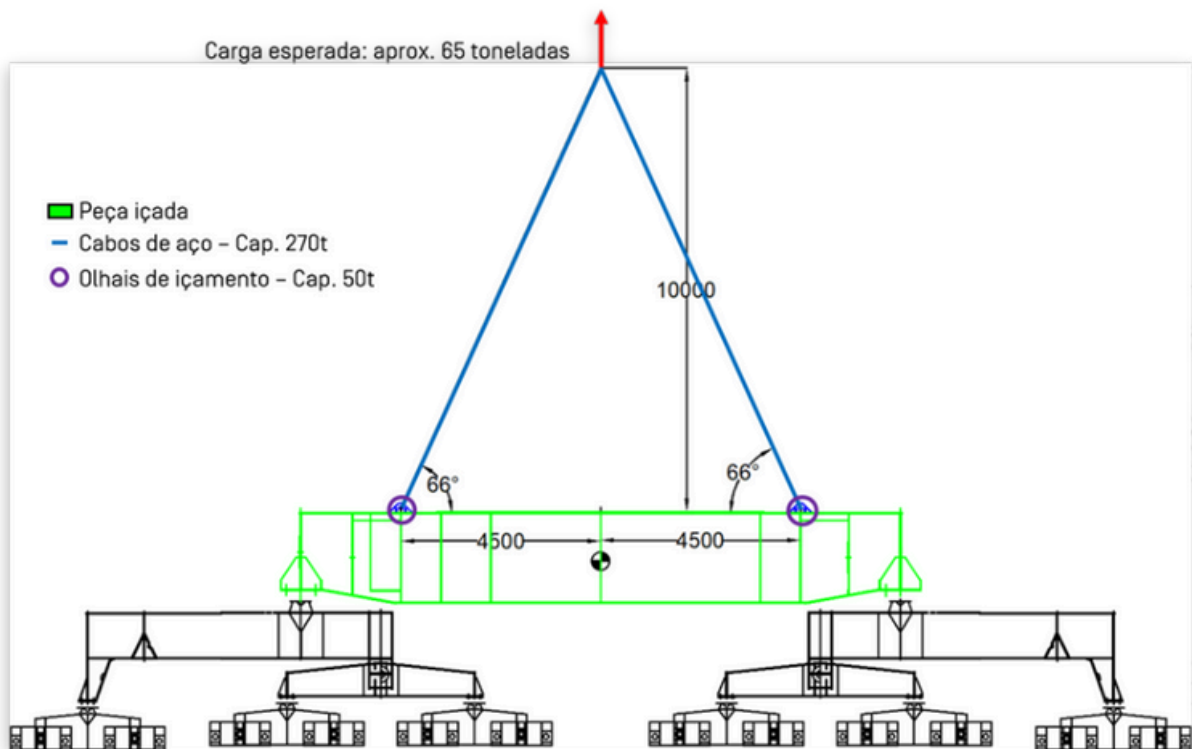
- Máquinas de pátio: Empilhadeira/Recuperadora;
- Máquinas de pátio: Empilhadeira;
- Máquinas de porto: Carregador de navios;
- Recuperadora: Viga porta-roda danificada;
- Máquinas de pátio: Empilhadeira/Recuperadora.

MÁQUINAS DE PÁTIO: EMPILHADEIRA/RECUPERADORA

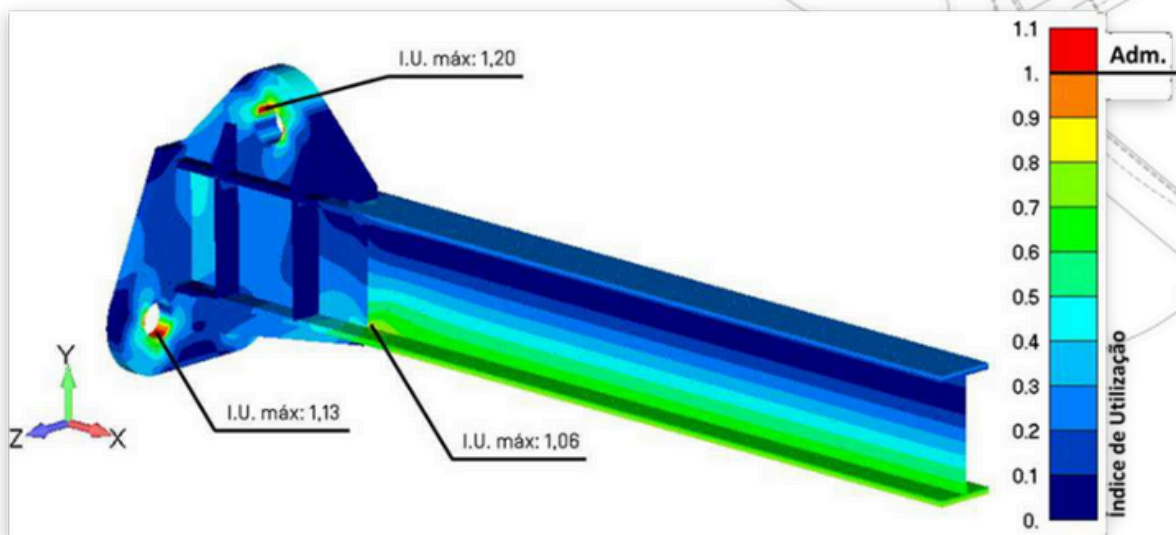
- Motivação da análise: Desejado procedimento de revitalização ou troca de uma máquina antiga condenada para uso com pesos de suas partes e componentes desconhecidos.
- Desenvolvimento: Cargas e requisitos mínimos de içamento determinados com base nas normas NBR 6123, NBR 8400 e FEM Section II.
- Resultados alcançados: Pesos estruturais estimados com base no modelo em elementos finitos desenvolvido. Emitido procedimento técnico contemplando todos os passos necessários para desmontagem completa da máquina para revitalização em oficina ou descarte [sucateamento].



Modelo numérico desenvolvido para estimativa de pesos.



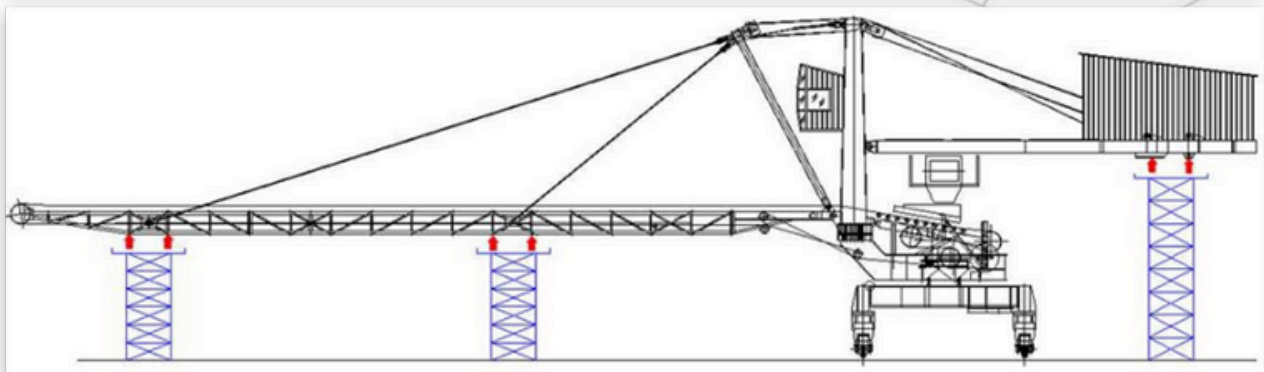
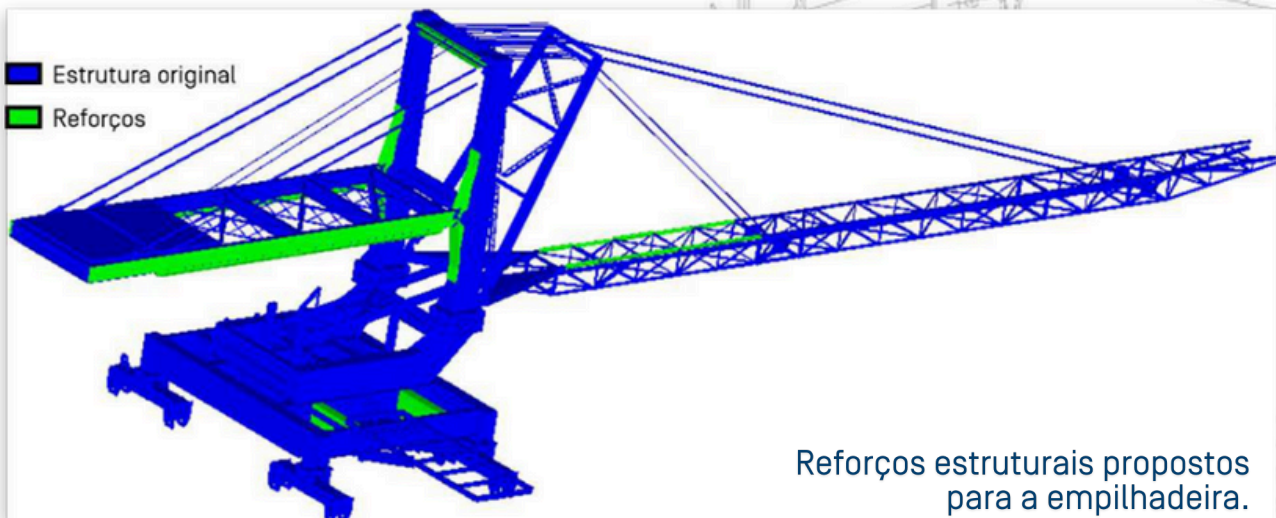
Esquema de içamento do portal de giro da máquina.



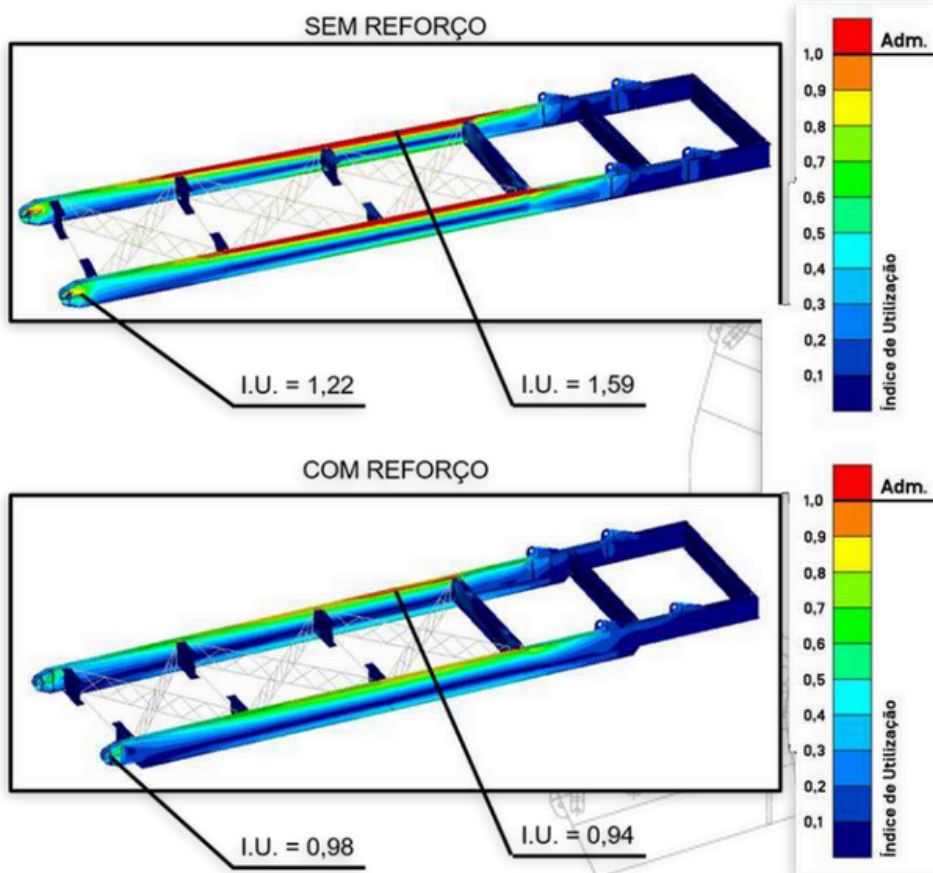
Análise do balancim projeto para auxiliar na desmontagem.

MÁQUINAS DE PÁTIO: EMPILHADEIRA

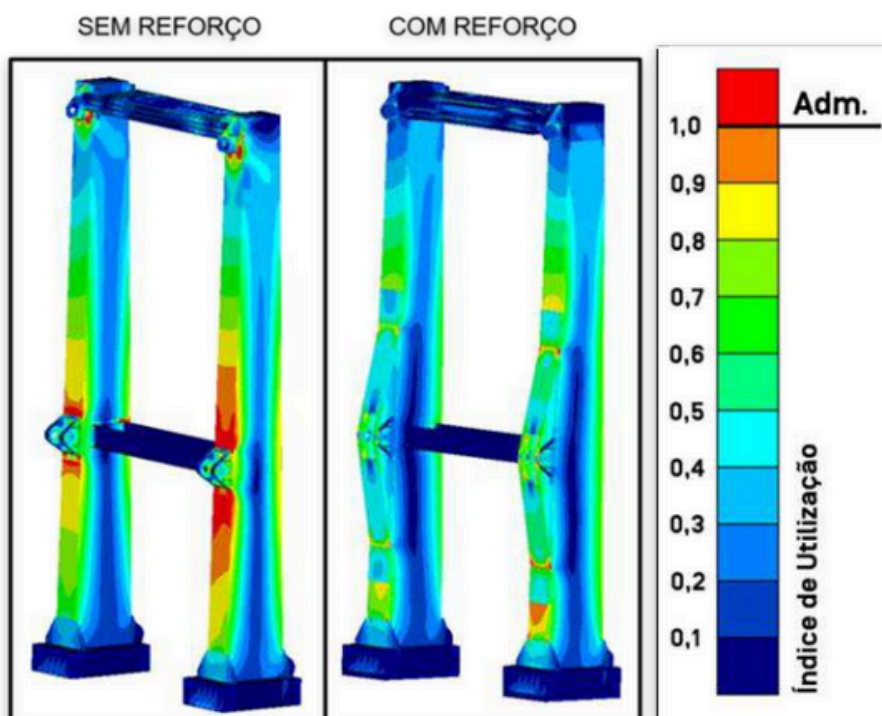
- Motivação da análise: Máquina antiga com estágio avançado de degradação em algumas regiões, inadequada para uso com capacidade de projeto original – requisitado estudo para avaliação de possibilidade de operação com taxa reduzida.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme norma FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208, AS 3774 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Levantamento de pontos críticos, pesagem para aferir posição real do centro de gravidade e projeto de revitalização com planos periódicos de inspeção para garantir integridade estrutural durante a operação.



Parte do procedimento de instalação de reforços estruturais – macaqueamento da máquina para alívio de tensões.



Melhora da condição estática da contralança da empilhadeira com os reforços propostos.

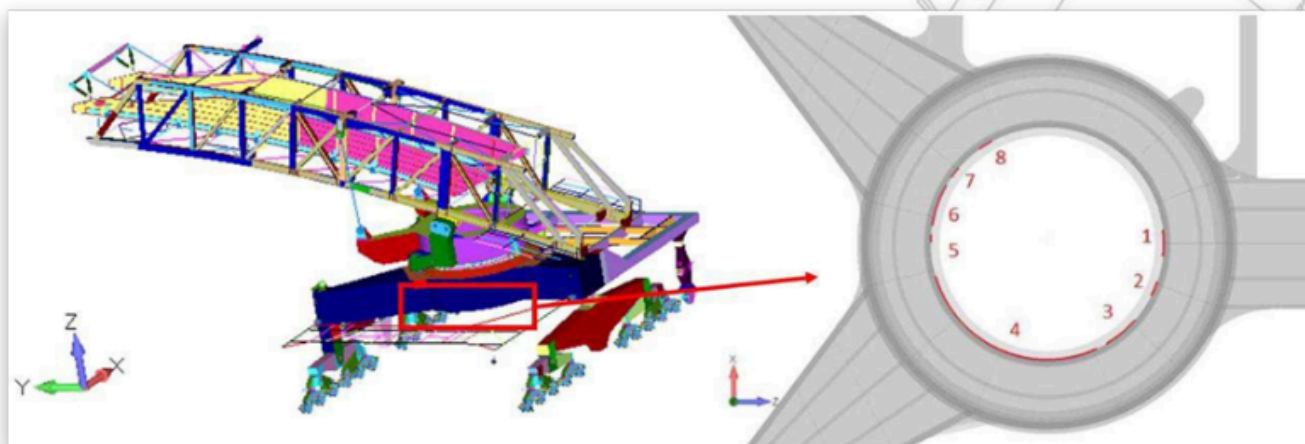
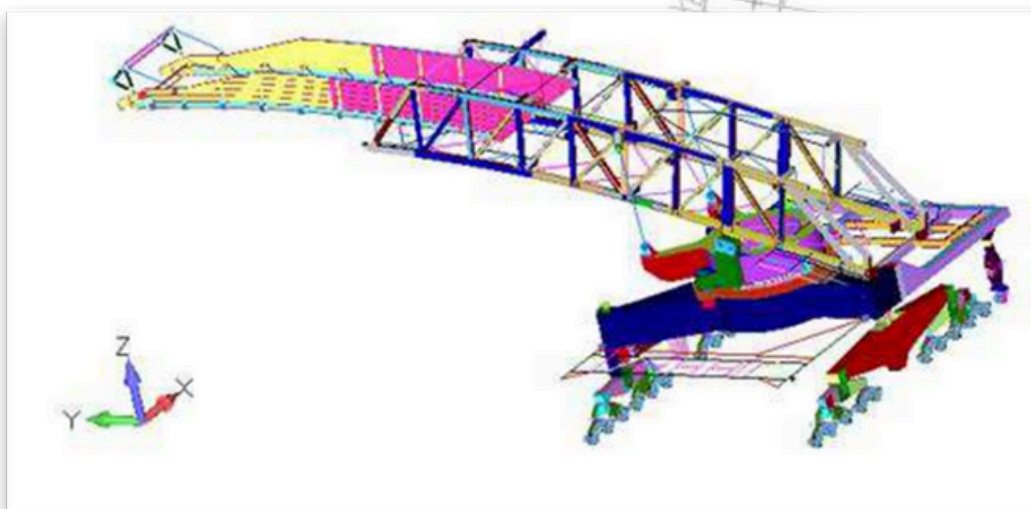


Melhora da condição estática do mastro da empilhadeira com os reforços propostos.

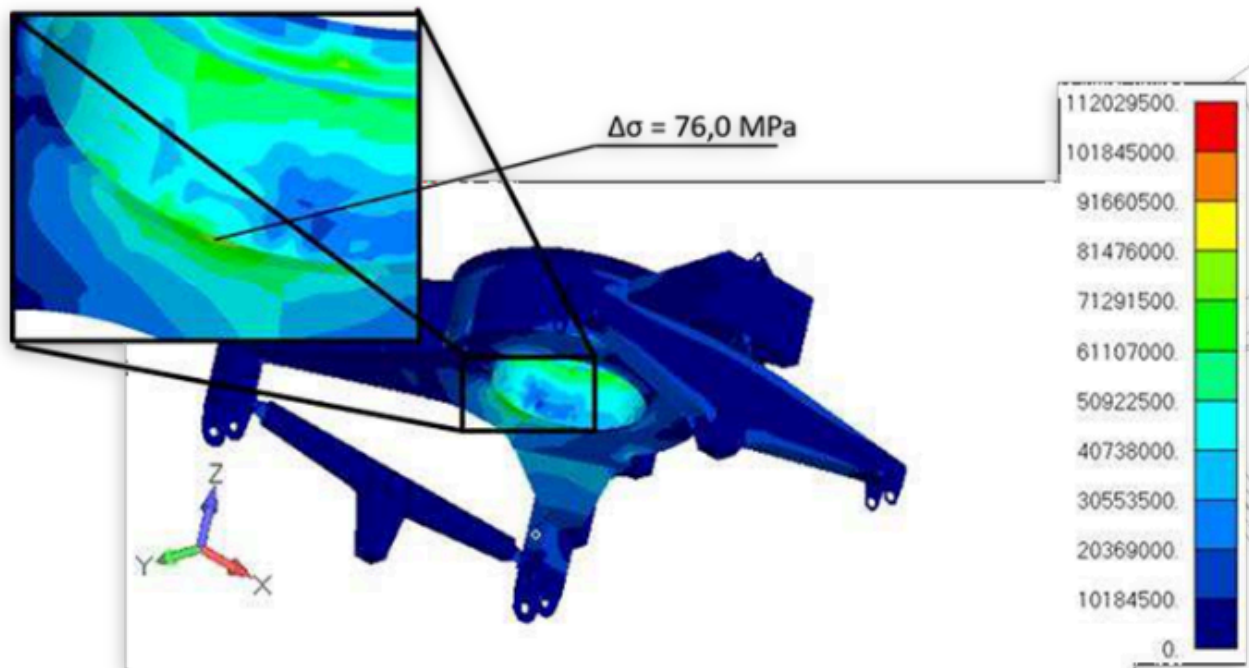
MÁQUINAS DE PORTO: CARREGADOR DE NAVIOS

- Motivação da análise: Suporte técnico especializado requisitado após detecção de descontinuidade durante ensaio não destrutivo em solda de grande responsabilidade da máquina.
- Desenvolvimento: Análise estrutural e mecânica conforme norma FEM Section II, AISC 360-16, NBR 8800, DNVGL-RP-C208 e EN-1993-1-9.
- Resultados alcançados: Liberação da máquina para operação com base nos resultados de fadiga, sendo a ação recomendada realização de ensaios não destrutivos periódicos.

Modelo em
elementos
finitos do
carregador
de navios.



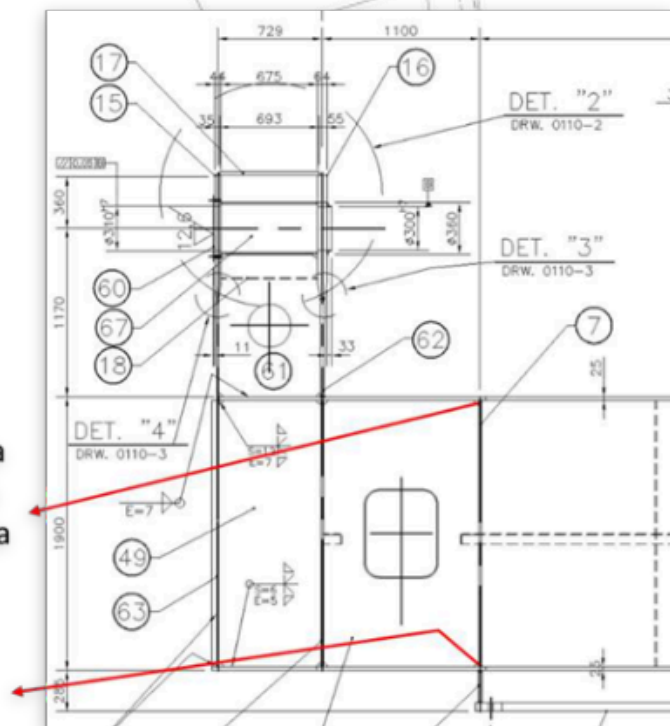
Região de interesse onde foram encontradas descontinuidades
com ensaio não destrutivo realizado em campo.



Resultado da análise de fadiga da região de interesse.

Regiões A, C e D – LP em solda em T na extensão aproximada da mancha vermelha na escala de tensões

Região B – LP em solda em T na extensão de aproximadamente 180° no lado do cilindro hidráulico.



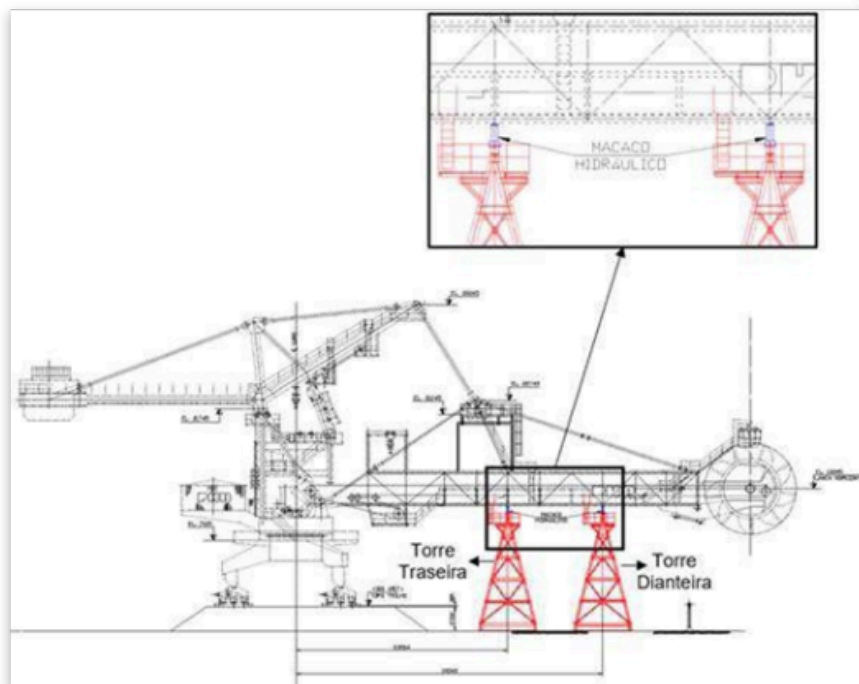
Soldas a serem inspecionadas em região crítica (reprovada na análise de fadiga) constatada na análise completa da máquina.

RECUPERADORA: VIGA PORTA-RODA DANIFICADA

- Motivação da análise: Viga porta-roda da máquina danificada, com muita incerteza do peso e da integridade estrutural apresentando risco de falha em operação, sendo necessária substituição do componente. A máquina como um todo recebeu diversas intervenções não programadas, resultando em desconhecimento da real condição da estrutura, apresentando necessidade diagnose do grau de conservação e riscos para funcionamento seguro.
- Desenvolvimento: Elaboração dos procedimentos e verificação estrutural para todas as etapas dos procedimentos de troca e balanceamento do sistema de elevação. Investigação das análises e intervenções realizadas durante a vida da máquina, compilando toda a documentação da máquina, para organizar em uma linha do tempo os principais registros da condição do equipamento.
- Resultados alcançados: Emitido procedimento técnico contemplando todos os passos necessários para troca da viga porta-roda e para balanceamento da elevação, garantindo substituição segura do componente e calibração do sistema de elevação para estender a vida útil do rolamento de giro e cilindro hidráulico de elevação. Emitidos planos detalhados, contendo os reparos requeridos para garantir que a máquina opere por mais 4, 10 ou 20 anos, com estimativa de custos para cada plano de ação, de forma a verificar o mais rentável dada a produtividade do equipamento e o custo de substituição dele.

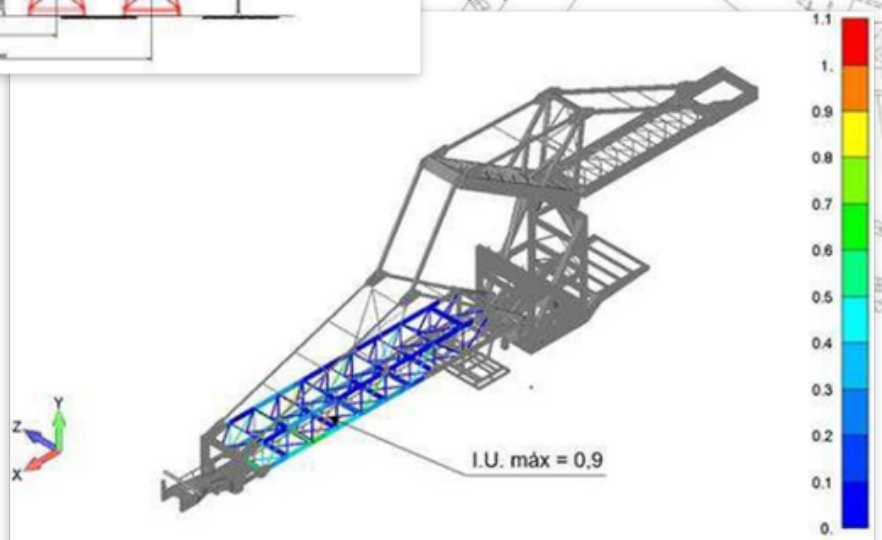


Modelo em elementos finitos para avaliação da parte superior da máquina durante os procedimentos.



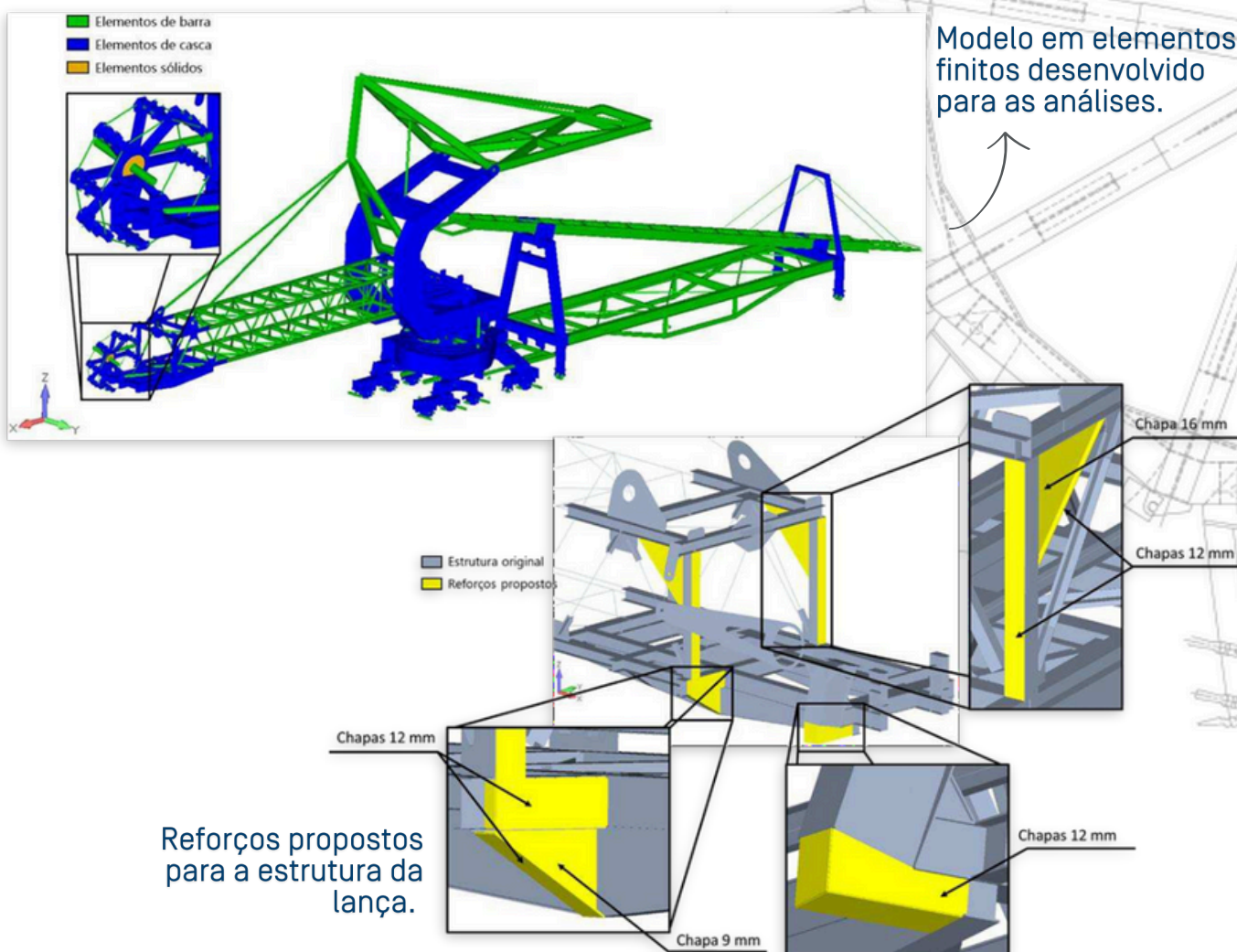
Parte do procedimento de troca da viga porta-roda – suporte da lança para remoção de contrapeso e equipamentos.

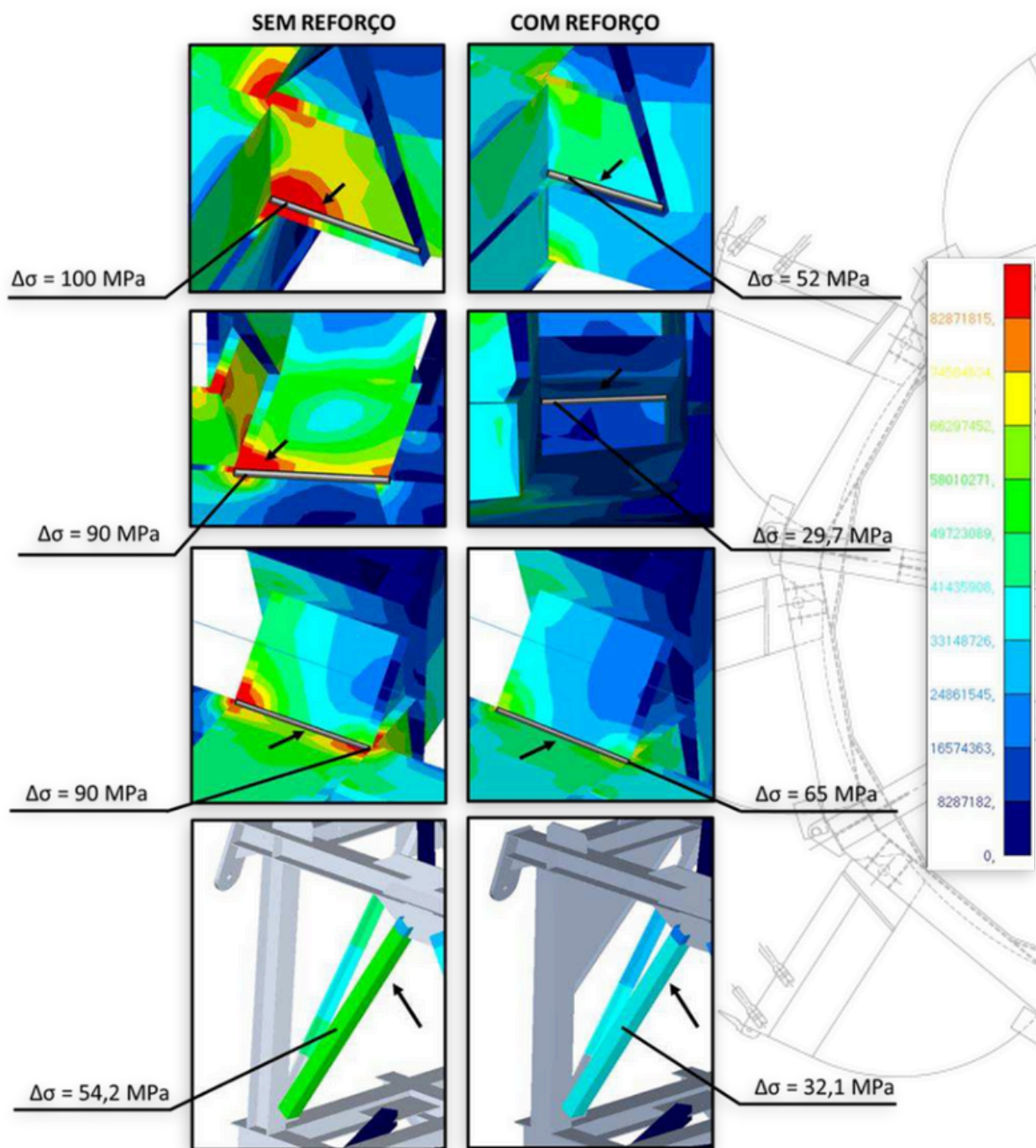
Resultados de índice de utilização dos perfis da lança durante procedimento



MÁQUINAS DE PÁTIO: EMPILHADEIRA/RECUPERADORA

- Motivação da análise: Projeto de levantamento de riscos e não conformidades de ativos para aumento de confiabilidade e segurança operacional.
- Desenvolvimento: Cargas e requisitos mínimos de içamento determinados com base nas normas NBR 6123, NBR 8400 e FEM Section II.
- Resultados alcançados: Identificadas regiões com vida útil menor que a requerida e propostos reforços estruturais para garantia da obtenção da vida útil esperada com disponibilidade, confiabilidade e segurança.





Comparativo da variação de tensões principais original e com a instalação dos reforços propostos na análise de fadiga.



SOLUÇÕES DE ENGENHARIA



www.hrdengenharia.com.br



comercial@hrdengenharia.com.br



[31] 3879-4587



[31] 9 9997-7566



Belo Horizonte – Minas Gerais



HRD Soluções de Engenharia