

# PORTFOLIO DETALHADO



HRD SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

Belo Horizonte - MG



## HRD SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

---

### 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;
- 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 talento;
- Segurança dos colaboradores e respeito ao meio ambiente.

## ÍNDICE:

<b>1.0</b>	<b>APRESENTAÇÃO – HRD SOLUÇÕES DE ENGENHARIA .....</b>	<b>4</b>
1.1	Histórico.....	4
1.2	Gestão da qualidade técnica .....	5
1.3	EQUIPE TÉCNICA.....	6
1.4	Quadro de referências técnicas .....	10
1.5	Estudos de casos similares - HRD .....	11
<b>2.0</b>	<b>ESTUDO DE CASOS – HRD SOLUÇÕES DE ENGENHARIA .....</b>	<b>13</b>
2.1	Análise estrutural .....	13
2.2	Análise via método dos elementos discretos [dem] .....	40
2.3	Elaboração de modelos cad 3d.....	45
2.4	Projetos mecânicos.....	50
2.5	Projetos estruturas metálicas.....	61
2.6	Análise experimental extensometria e vibração.....	67
2.7	Análise fluidodinâmica computacional CFD .....	71
2.8	Planos executivos e acompanhamento .....	78

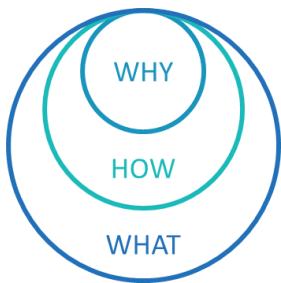
## **1.0 APRESENTAÇÃO – HRD SOLUÇÕES DE ENGENHARIA**

### **1.1 HISTÓRICO**

A HRD Soluções de Engenharia foi formada em 2018 por engenheiros entusiastas da área de cálculo estrutural e mecânico. Após mais de sete anos trabalhando em conjunto, agregando ambições pessoais e profissionais, os fundadores se uniram em um objetivo comum de criar a HRD.

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

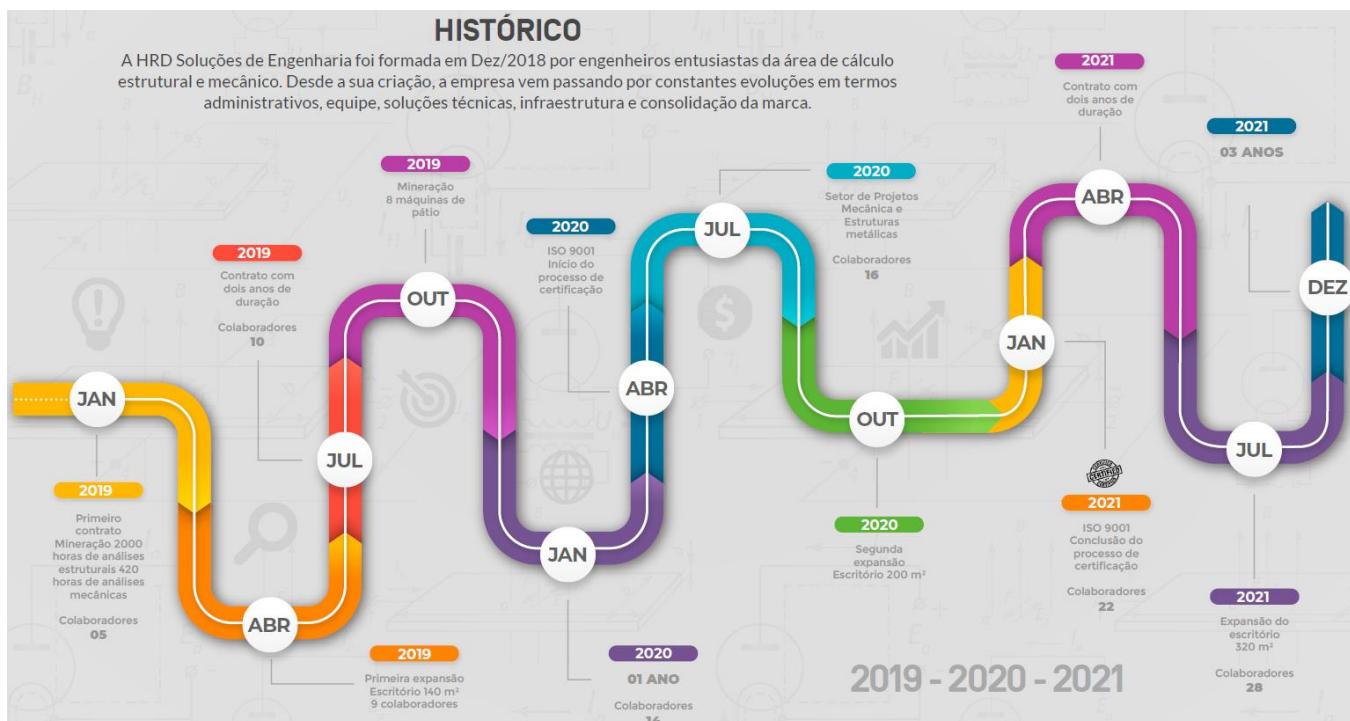
Acredita-se no auxílio aos clientes para aumentar a confiabilidade e disponibilidade de seus equipamentos e estruturas, aderindo aos critérios normativos e mitigando riscos de incidentes de forma eficiente.



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.

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, Ferrovias e Siderurgia.

Na linha do tempo abaixo, é apresentado um breve histórico de evolução da empresa ao longo dos últimos 2 anos.



Linha do tempo 2019/2020/2021 – Evolução HRD Engenharia

## 1.2 GESTÃO DA 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.

### Certificado ISO 9001

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.



## 1.3 EQUIPE TÉCNICA

### 1.3.1 Renée 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.

### 1.3.2 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.

### 1.3.3 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.
- Análise de falha do eixo do britador cônicoo 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.

#### **1.3.4      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.

## 1.4 QUADRO DE REFERÊNCIAS TÉCNICAS

Abaixo segue quadro para referência técnica sobre os responsáveis técnicos da HRD Soluções de Engenharia, descrito acima.

### Samarco

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

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

Ref. HRD Soluções de Engenharia

### MRN

Roberto Gurgel de Souza - [rtj.roberto.gurgel@mrn.com.br](mailto:rtj.roberto.gurgel@mrn.com.br) - [93] 99156-6010

Ref. Diego Correia Martins e Hugo Gatti Ladeia Costa

### Arcelor Mittal

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

Ref. HRD Soluções de Engenharia

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

Ref. Renée Ferreira de Andrade

### VALE

Devanir Silva [Portos] - [devanir.silva@vale.com](mailto:devanir.silva@vale.com) - [27] 99589-8888

Ref. HRD Soluções de Engenharia

Wagner Kameyama [Carajás] - [wagner.kameyama@vale.com](mailto:wagner.kameyama@vale.com) - [12] 98119-1868

Ref. Renée Ferreira de Andrade e Ronaldo Lelis Santos

Eustácio Maia [S11D] - [eustacio.maia@vale.com](mailto:eustacio.maia@vale.com) - [94] 98803-2421

Ref. Hugo Gatti Ladeia Costa e Renée Ferreira de Andrade

Paulo Tovar [Portos] - [paulo.tovar@vale.com](mailto:paulo.tovar@vale.com) - [27] 98889-3291

Ref. Renée Ferreira de Andrade

Vinícius Donizetti [Portos] - [vinicius.donizetti@vale.com](mailto:vinicius.donizetti@vale.com) - [27] 98125-2859

Ref. Diego Correia Martins

### LIASA

Fernando Patrus [Diretor] - [fernando@liasa.com.br](mailto:fernando@liasa.com.br) - [31] 3249-2000

Ref. HRD Soluções de Engenharia

### LLK

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

Ref. HRD Soluções de Engenharia

### ARCADIS

Fábio Parussolo [SLZ] - [fabio.parussolo@arcadis.com](mailto:fabio.parussolo@arcadis.com) - [98] 99118-2133

Ref. HRD Soluções de Engenharia

## 1.5 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 ou em andamento pela empresa.

Equipamentos / Estruturas	Quantidade	Observações
<b>Análises DEM</b>	<b>17</b>	
Casas de transferências - Circuito de pelotas	3	Emissão de particulados / Distribuição de material
Casas de transferências - Circuito de embarque de material	6	Emissão de particulados
Carregador de navios de grãos	2	Desviadora de fluxo
Casas de transferências - Circuito de embarque de material	3	Entupimento
Alimentação de um transportador de correia	1	Desalinhamento e vida útil da correia
Tromba de descarga Shiploader	1	Entupimento
Arado de mistura	1	Blendagem de matérias
<b>Máquinas de pátio</b>	<b>25</b>	
Empilhadeira	7	Análises estruturais, estabilidade, mecânicas e projeto básico
Recuperadora	6	Análises estruturais, estabilidade e mecânicas
Recuperadora de ponte	3	Análises estruturais e mecânicas
Empilhadeira/Recuperadora	1	Inspeção de integridade estrutural
Empilhadeira/Recuperadora	6	Análises estruturais, estabilidade e mecânicas
Virador de vagões	2	Análises estruturais e mecânicas
<b>Equipamentos de porto</b>	<b>7</b>	
Carregador de navios	3	Análises estruturais e mecânicas
Descarregador de navios	3	Análises estruturais e mecânicas
Gato de amarração de navio	1	Análise estrutural e projeto detalhado
<b>Transportadores de correia</b>	<b>46</b>	
Transportador de correia de longa distância - TLC	3	Análises estruturais, mecânicas e projeto básico
Desenvolvimento de projeto FEL 1	5	Pré dimensionamento estrutural e definição de rotas
Transportador convencionais	29	Análises estruturais e mecânicas
Tripper	7	Análises estruturais e mecânicas
Transportadores especiais	2	Transportadores curvo e de bancada realocáveis

Equipamentos / Estruturas	Quantidade	Observações
<b>Estruturas metálicas Industriais / Comerciais</b>	<b>59</b>	
Prédios de processo	6	Análises estruturais
Torre de amostragem	15	Projeto estrutural e mecânico
Píer	2	Análises estruturais
Torres de apoio para manutenção	4	Análises estruturais
Galpões	28	Análises estruturais
Armazém de grãos	1	Análises estruturais
Estrutura de monovia	1	Análises estruturais para reportenciamento de uma talha
Estrutura de sustentação	1	Análises estruturais para reportenciamento de um eletroimã
Ponte sobre tanque	1	Análises estruturais
<b>Instrumentação</b>	<b>42</b>	
Extensometria	3	Britador de mandíbulas, Galpão de armazenamento, Máquina de pátio
Acelerometria	7	Peneiras, britadores e alimentadores vibratórios
As built	32	Ultrassom e levamento dimensional, tratamento de nuvem de pontos
<b>Due Diligence técnica</b>	<b>56</b>	
Transportadores de correia	30	
Máquinas de pátio	10	
Máquinas portuárias	16	MHC, Carregador e descarregador de navios
<b>Análises gerais</b>	<b>60</b>	
Tambores	8	Análise estrutural e mecânica
Componentes mecânicos	13	Sistema de despoieiramento, mesa de impacto, cavaletes, prensa de vulcanização etc.
Estruturas de estocagem / armazenamento	9	Estrutural moegas, tanques e silos
Análise de falha	2	Britador de mandíbulas, atuador elétrico
Análise dinâmica	5	Peneiras, britadores e alimentadores vibratórios
Análise de movimentação de carga	6	Integridade estrutural
Estruturas de segurança	4	Gaiola para enchimento de pneu e linha de vida
Análise térmica / Termo estrutural	2	Análise térmica / Termo estrutural
Análise CFD	5	Tubulação de arrefecimento, módulos de refrigeração de coifa e chaminé, Painel fotovoltaico
Estruturas civis	6	Estruturas, Bases de concreto e fundações
<b>Projetos / Modelagem CAD 3D</b>	<b>14</b>	
Modelagem CAD 3D	8	Modelagem CAD 3D
Projeto básico [processos, mecânica e estruturas metálicas]	2	Sistema robótico de amostragem / Planta de coating em pelotas de minério de ferro
Projetos mecânicos / estruturais	4	Projetos mecânicos / estruturais

✓ Atividade em **05 setores** do mercado

- Mineração – 69%
- Siderurgia – 19%
- Portos – 7%
- Construção civil – 3%
- Movimentação de cargas – 2%

✓ **15000** horas de engenharia executadas em 2019

✓ **25200** horas de engenharia executadas em 2020

✓ **35000** horas de engenharia executadas em 2021

✓ **20** ferramentas / softwares de engenharia desenvolvidos

O quadro resumo abaixo descreve os principais trabalhos similares executados pela HRD.

Cliente	Local de execução	Prazo	Quantitativo de serviços	Resultados alcançados
Samarco	UBU-ES	36 meses	10.000 h	
Arcelor Mittal	VITÓRIA-ES	24 meses	9.000 h	Integridade estrutural de ativos;
Arcadis	VALE – São Luis	24 meses	22.000 h	Desempenho operacional de equipamentos;
Mineração Caraíba	Pilar - BA	3 meses	800 h	

## 2.0 ESTUDO DE CASOS – HRD SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

Neste item são apresentados alguns dos serviços realizados pela HRD ao longo dos anos.

### 2.1 ANÁLISE ESTRUTURAL

#### 2.1.1 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 reprojeto 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

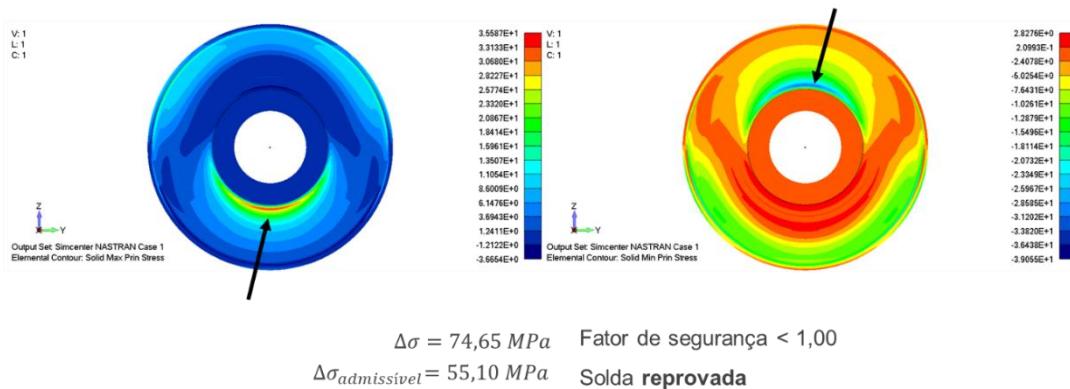


Figura 1: Análise da solda entre o cubo e o disco lateral.

##### Análise de tensões – Solda do disco lateral e cilindro

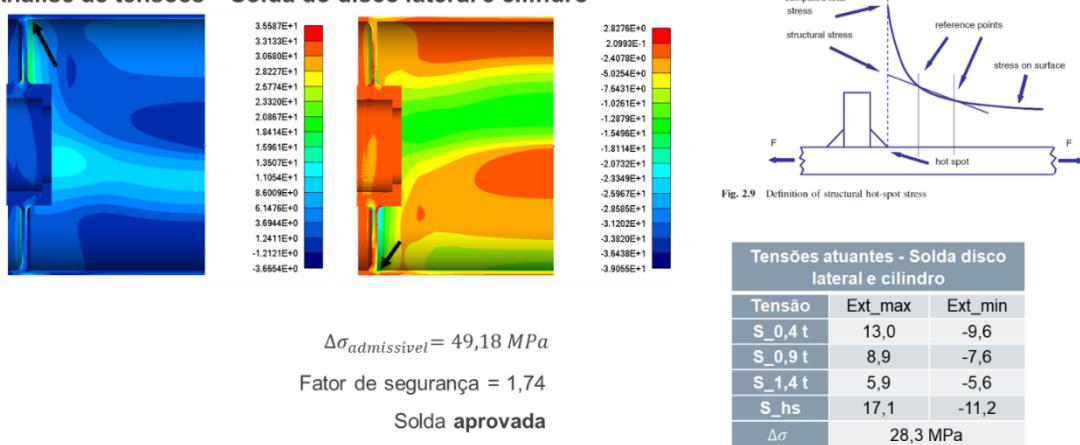


Figura 2: Análise “*hot spot*” da solda entre o disco lateral e o cilindro.

## 2.1.2 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.



Figura 3: Modelo em elementos finitos desenvolvido para realização das análises.

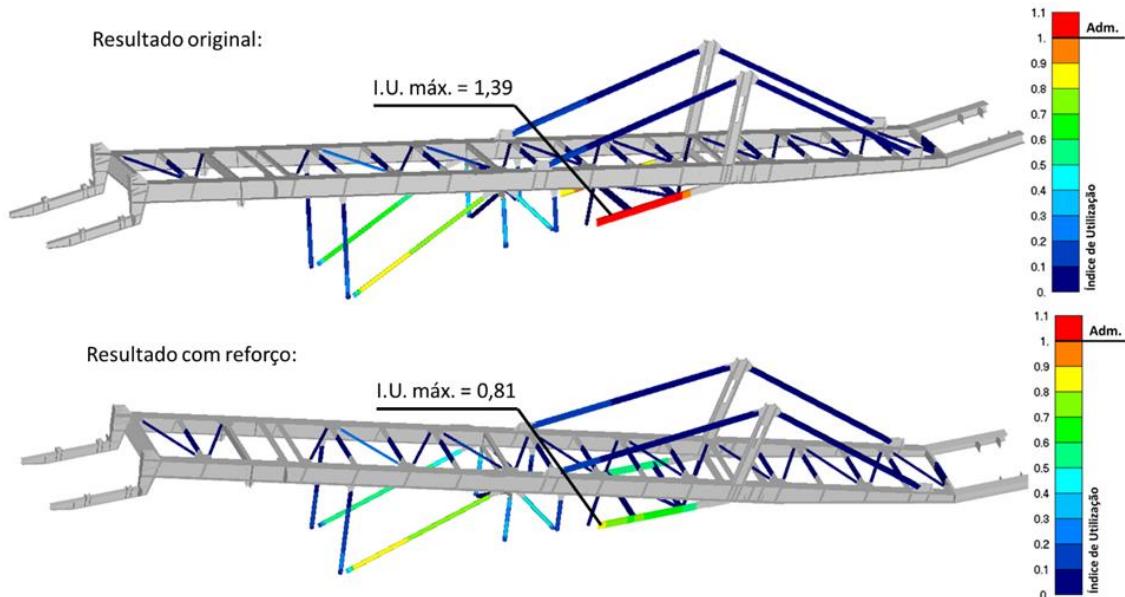


Figura 4: Constatação da melhora da condição estática da região reforçada do tripper.

### Momento estabilizantes e desestabilizantes

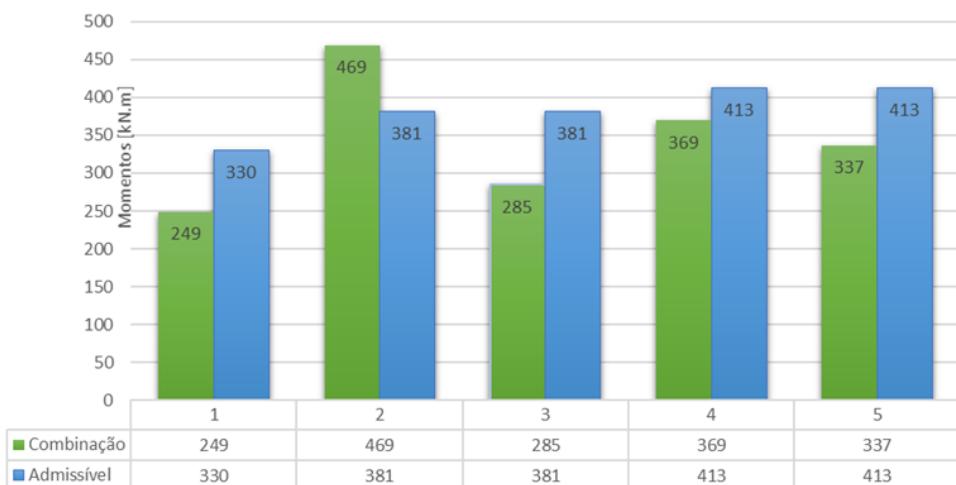


Figura 5: Resultado gráfico da análise de estabilidade global e riscos de tombamento.

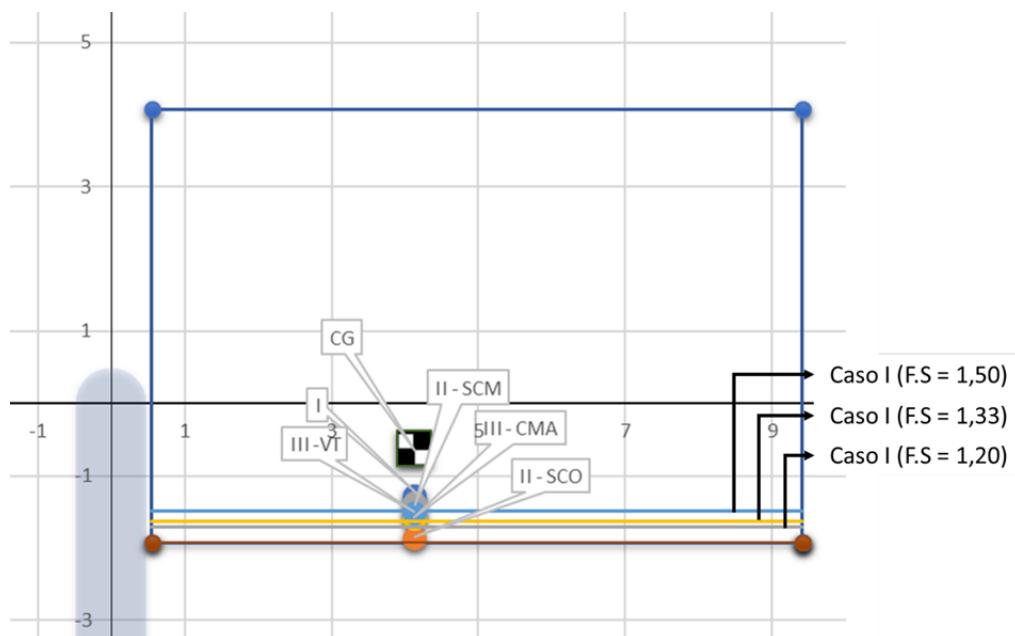


Figura 6: Resultado ilustrativo da análise de estabilidade global e riscos de tombamento.

### 2.1.3 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.

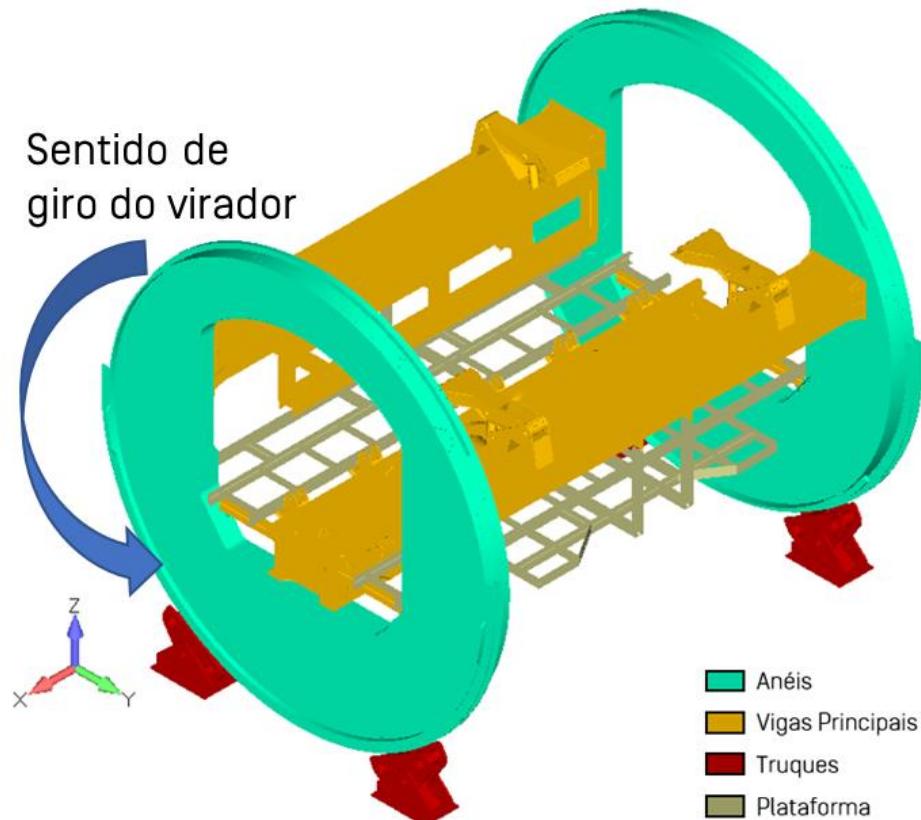


Figura 7: Modelo numérico desenvolvido para as análises.

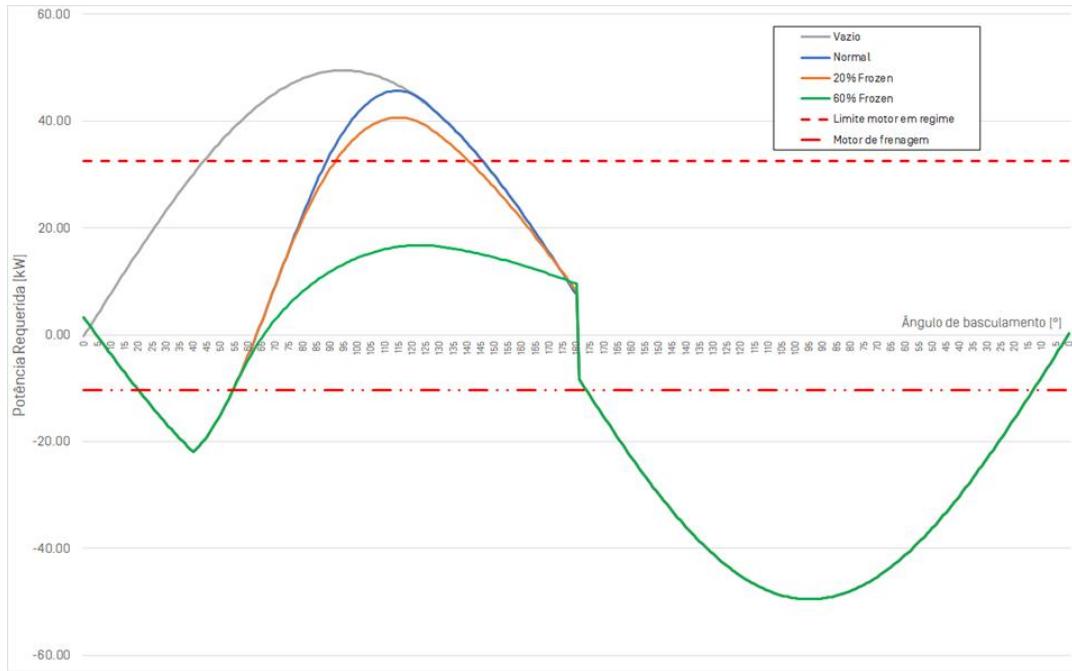


Figura 8: Resultado de potência requerida para o sistema de giro.

FS = 2,34 - APROVADO

FS = 0,91 - REPROVADO

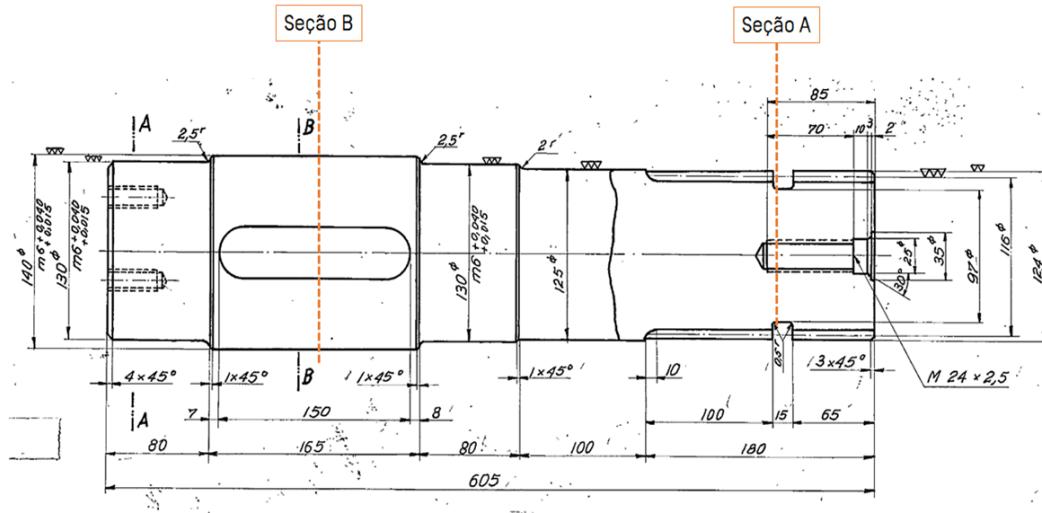


Figura 9: Resultado da verificação mecânica do eixo do pinhão de giro.

## 2.1.4 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.

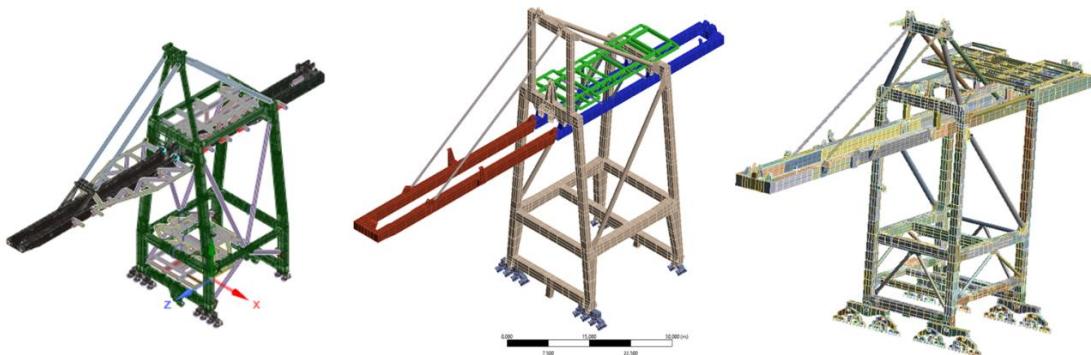


Figura 10: Modelo em elementos finitos dos descarregadores analisados.

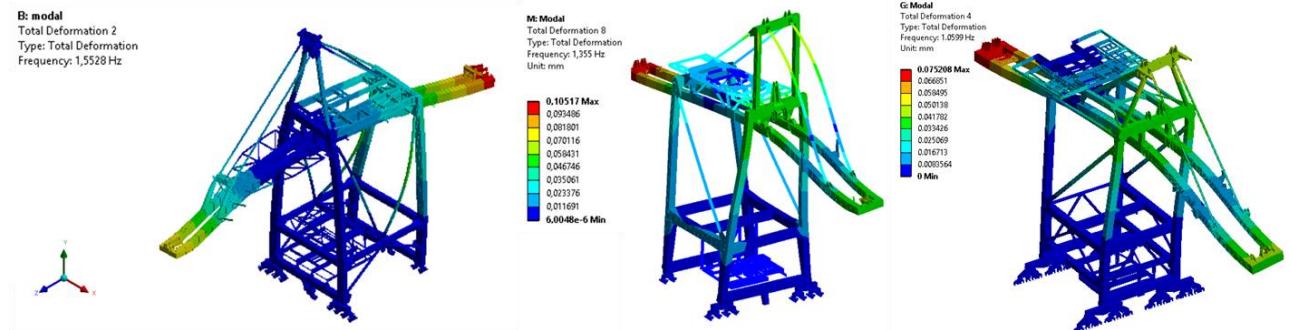


Figura 11: Análise dinâmica [modal] dos descarregadores de navios.



Figura 12: Análise de tensões das máquinas.

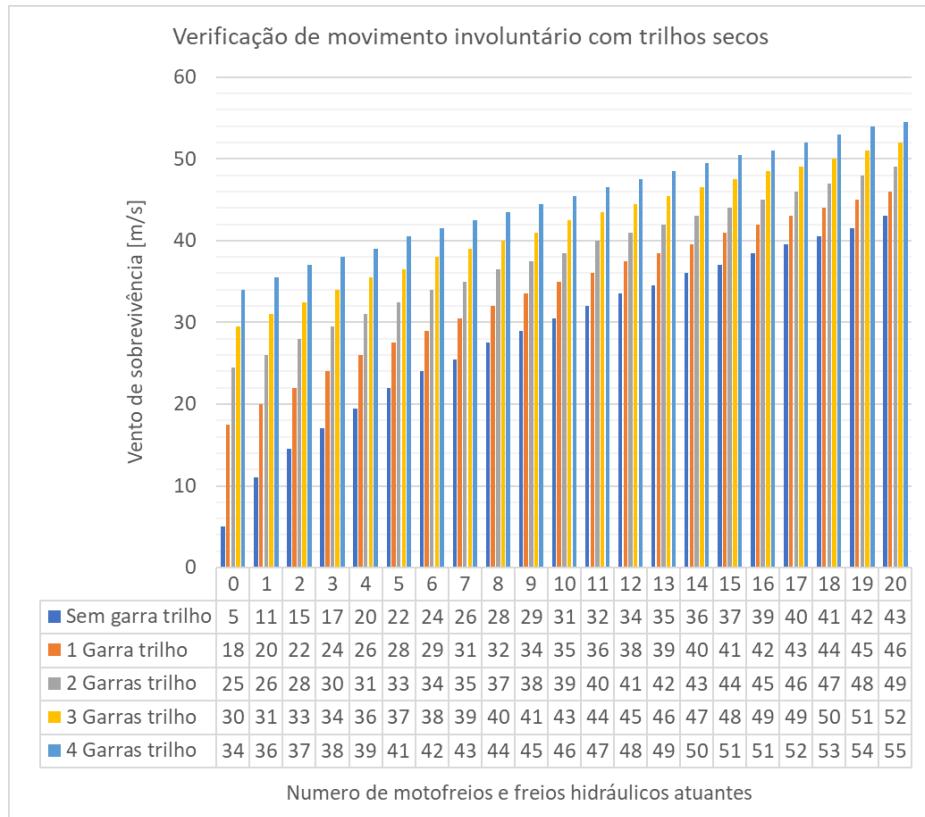


Figura 13: Análise do sistema de frenagem [velocidade de sobrevivência] de um dos descarregadores.

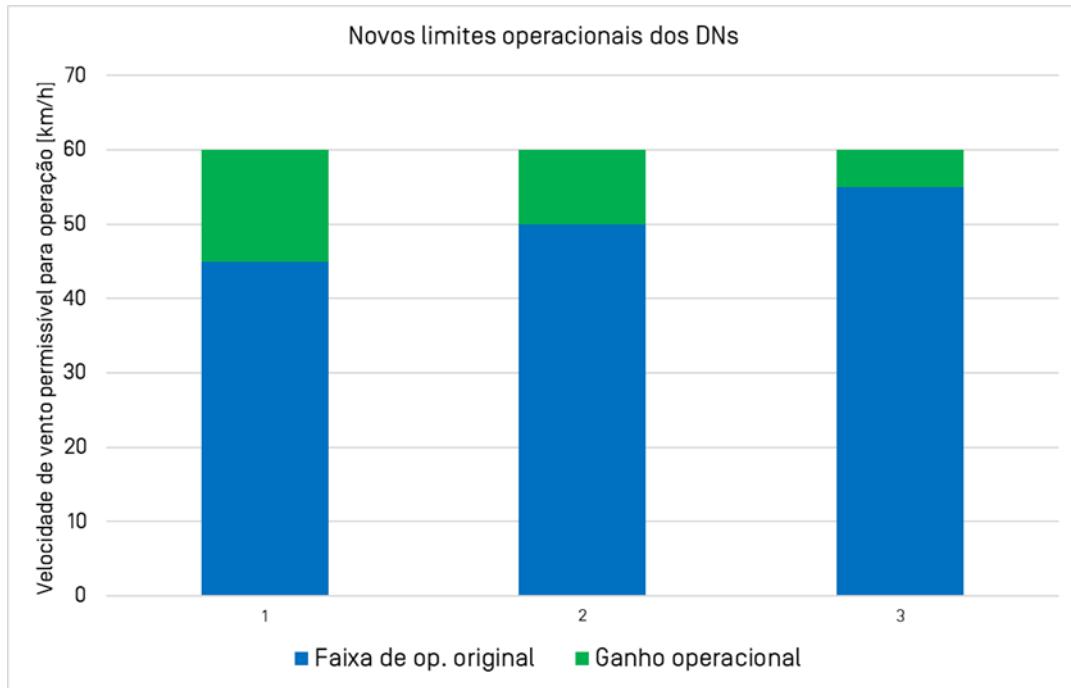


Figura 14: Ganho operacional com novos limites de operação sobre ventos fortes.

## 2.1.5 Máquinas de porto: Carregador de navios

**Motivação da análise:** Necessidade da instalação de calhas coletores 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 coletores 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.

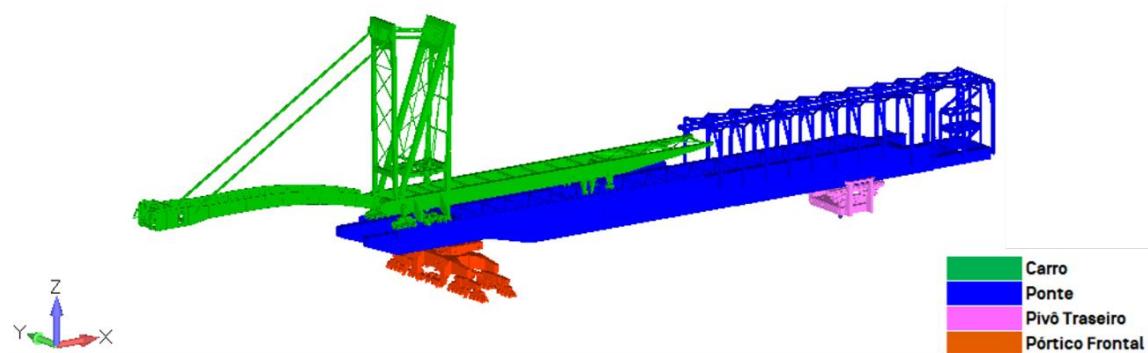


Figura 15: Modelo em elementos finitos da estrutura completa.

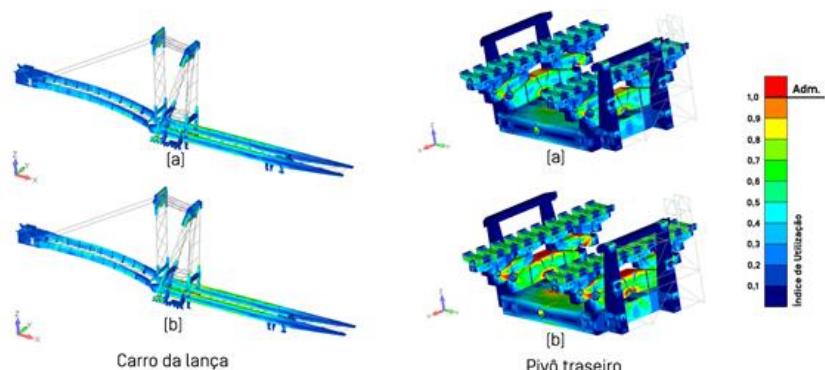


Figura 16: Resultado de índices de utilização para o carro da lança e o pivô traseiro do CN [Caso II] – [a] sem calha; [b] com calha.

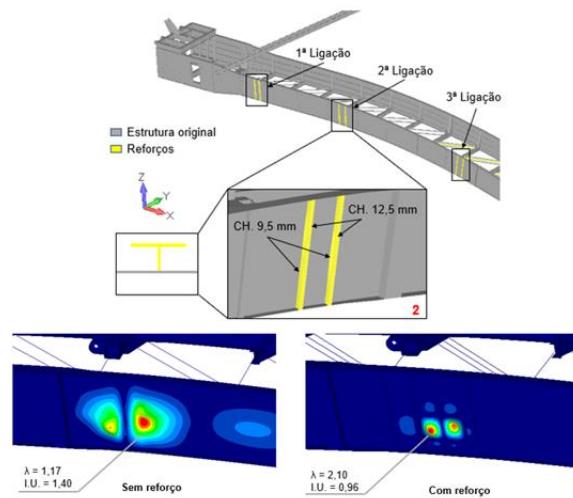


Figura 17: Detalhes dos reforços nos banzos da lança – Análise de flambagem por autovalor.

## 2.1.6 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.

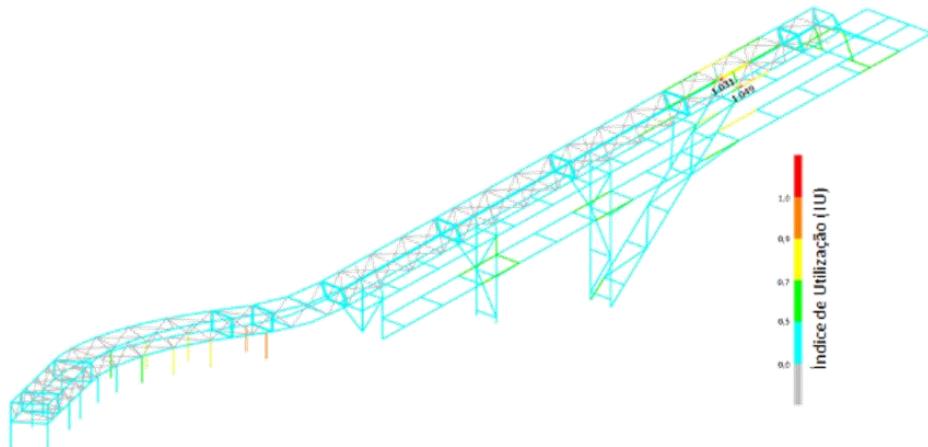


Figura 18: Resultado da análise da estrutura original.

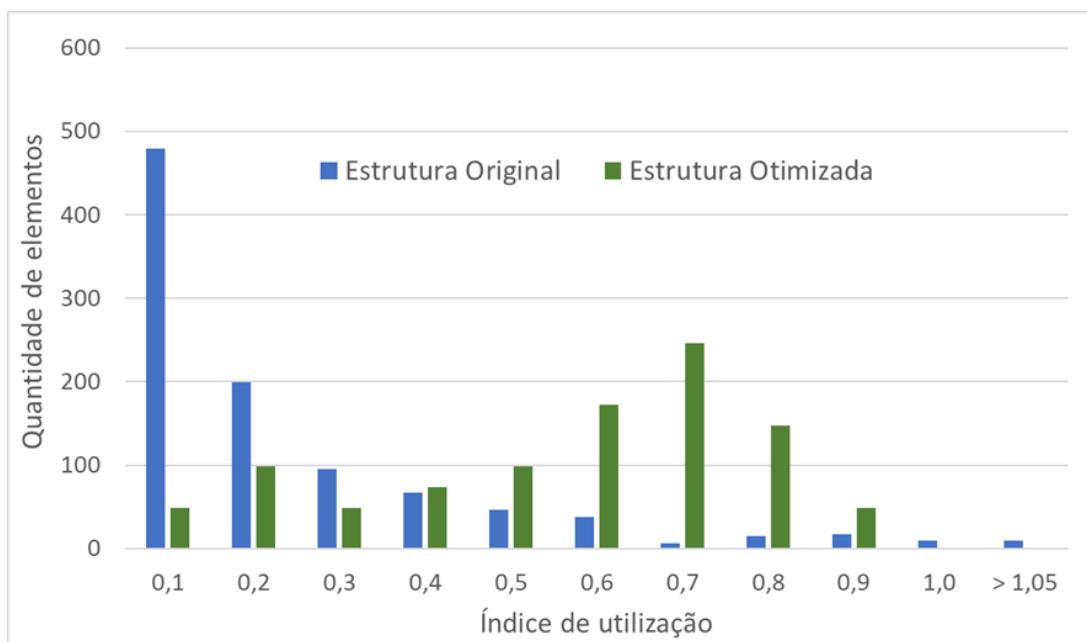


Figura 19: Otimização da estrutura alcançada com a análise.

### 2.1.7 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.

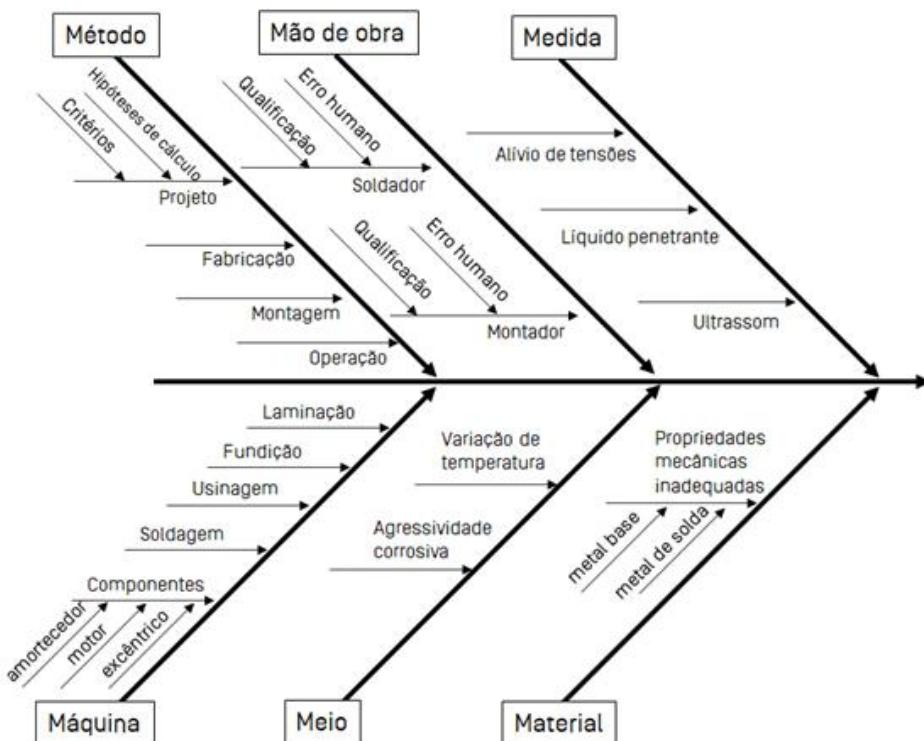


Figura 20: Diagrama espinha de peixe – levantamento de hipóteses de causa da falha.

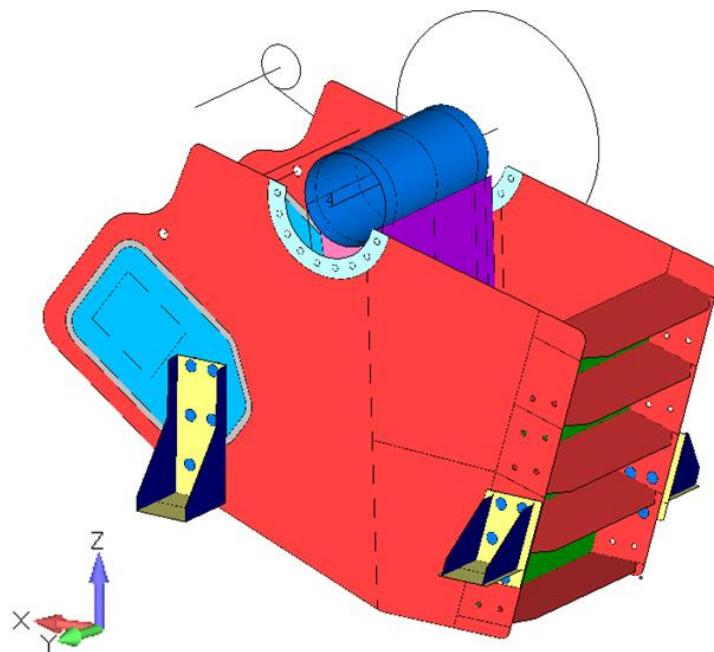


Figura 21: Modelo em elementos finitos do britador de mandíbula.

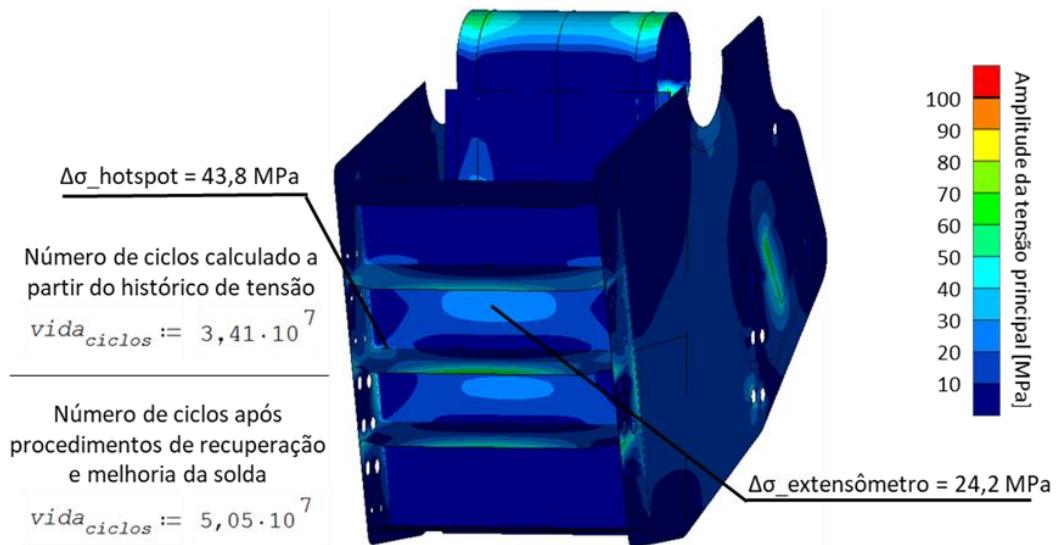


Figura 22: Variação de tensão de fadiga calculada por hot-spot – Vida esperada em ciclos antes e depois dos procedimentos recomendados.

## 2.1.8 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.

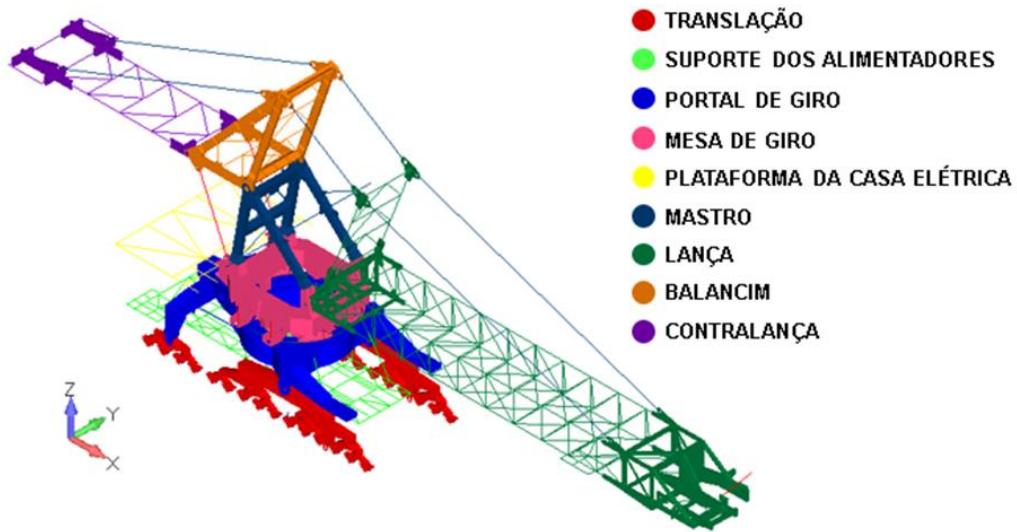


Figura 23: Modelo numérico desenvolvido para as análises.

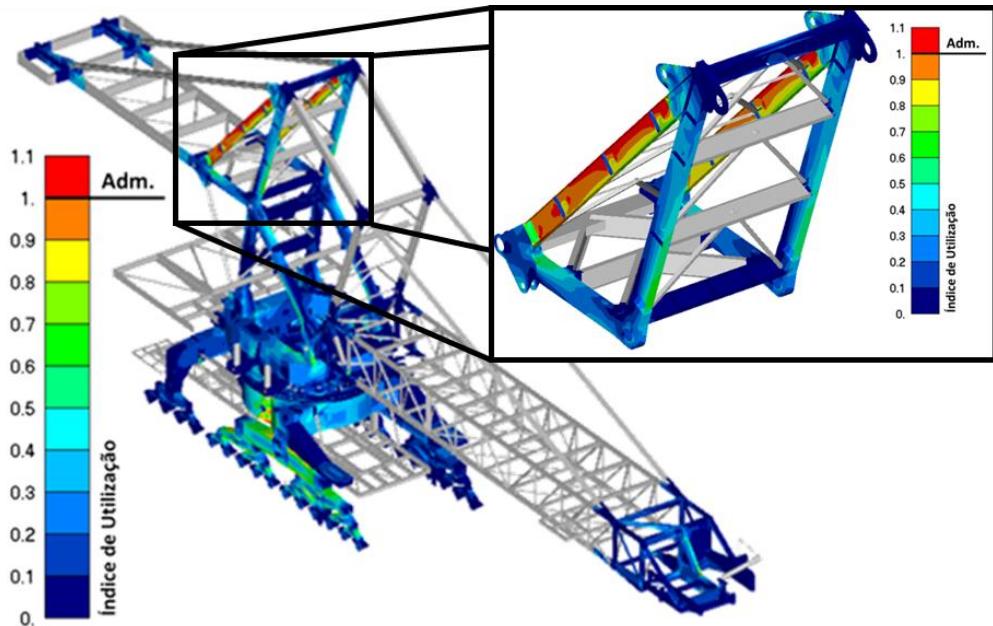


Figura 24: Resultado crítico da análise de tensões identificado para a estrutura.

### 2.1.9 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.



Figura 25: Modelo do transportador de correia.

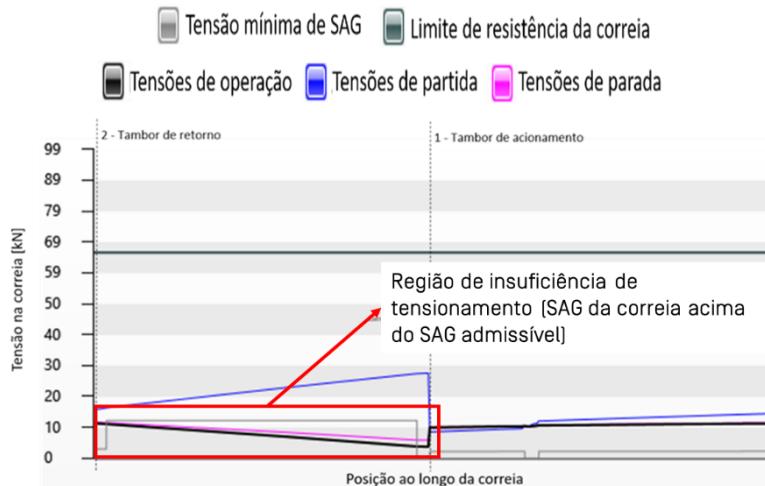


Figura 26: Tensão na correia ao longo do transportador da lança para a elevação de 10°.

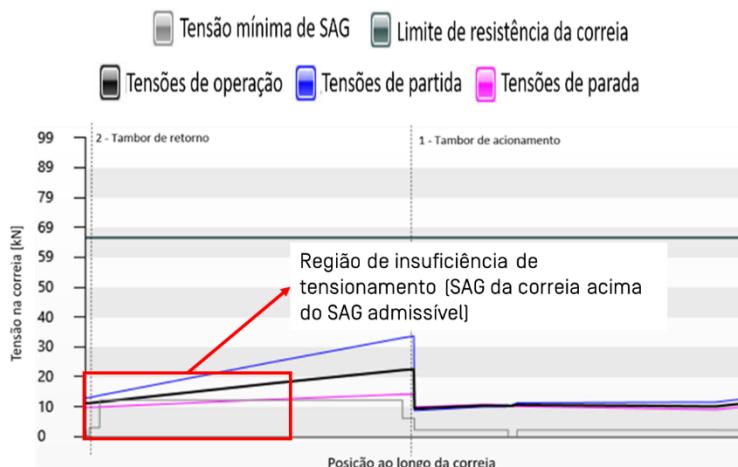


Figura 27: Tensão na correia ao longo do transportador da lança para a elevação de -9°.

## 2.1.10 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, NBR 8800 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.

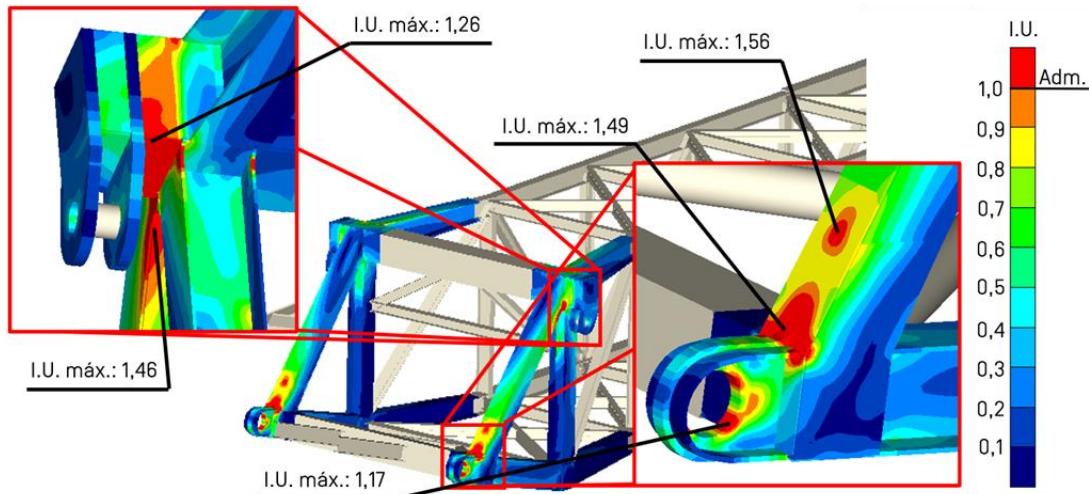


Figura 28: Resultado da análise estática de tensões da estrutura do descarregador.

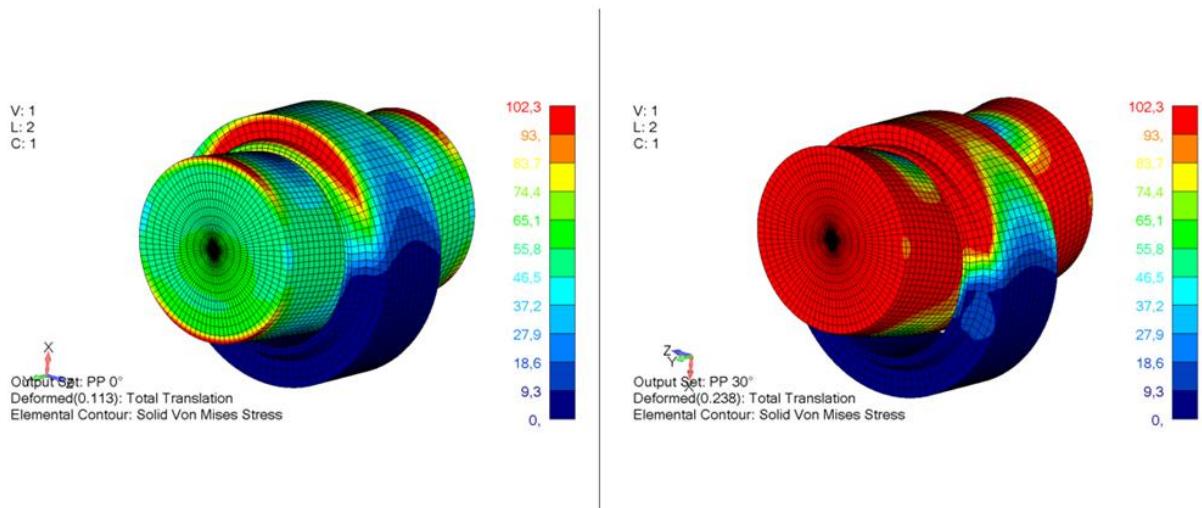


Figura 29: Resultado da análise numérica da ligação para a condição de operação normal [esquerda] e descarregador em posição de by-pass [direita].

### 2.1.11 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.

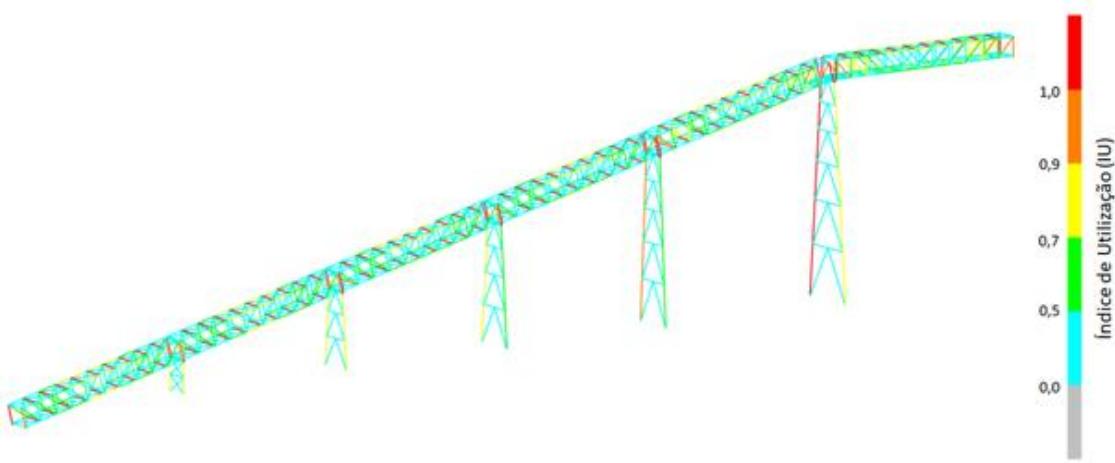


Figura 30: Resultado da análise da estrutura original.

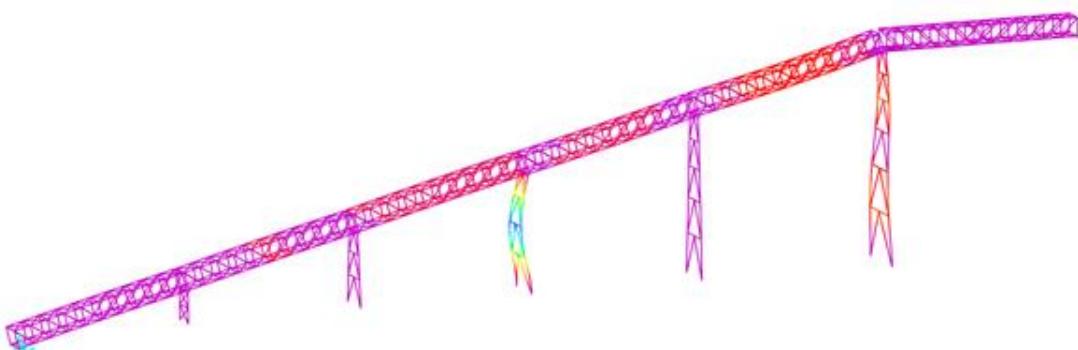


Figura 31: Frequência natural com alto risco de acoplamento com a excitação dos roletes identificada na análise modal.

### 2.1.12 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 NBR 8800 [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.

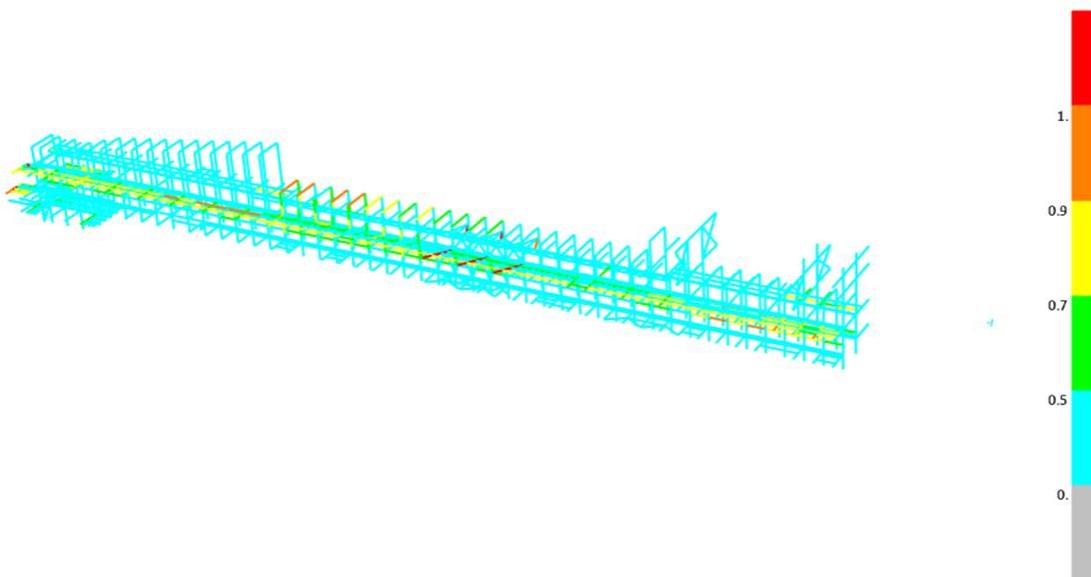


Figura 32: Verificação e índice de utilização dos elementos perfilados para atender a critérios mínimos de estado limite último.

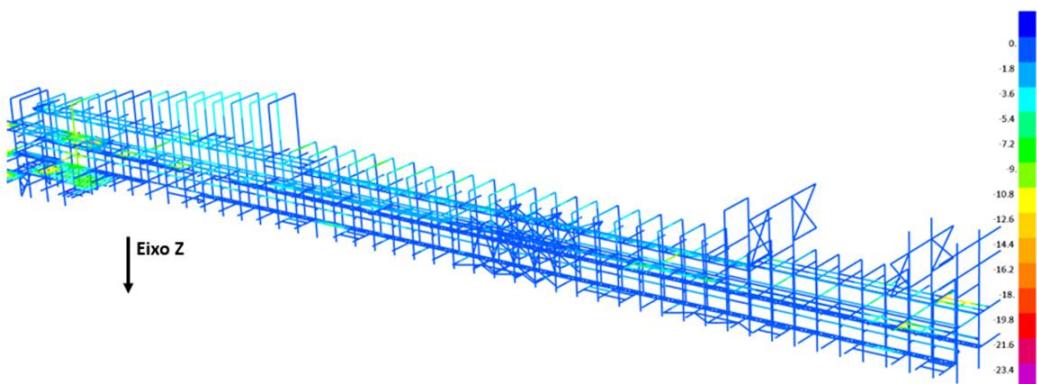


Figura 33: Verificação de deslocamentos máximos para atender critérios mínimos de estado limite de serviço.

### 2.1.13 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.

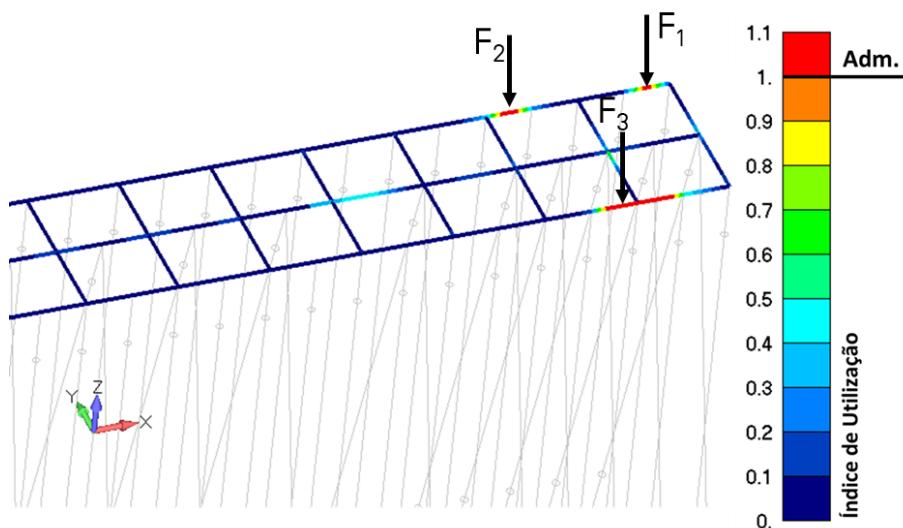


Figura 34: Resultado de I.U. das vigas na região de maior resistência.

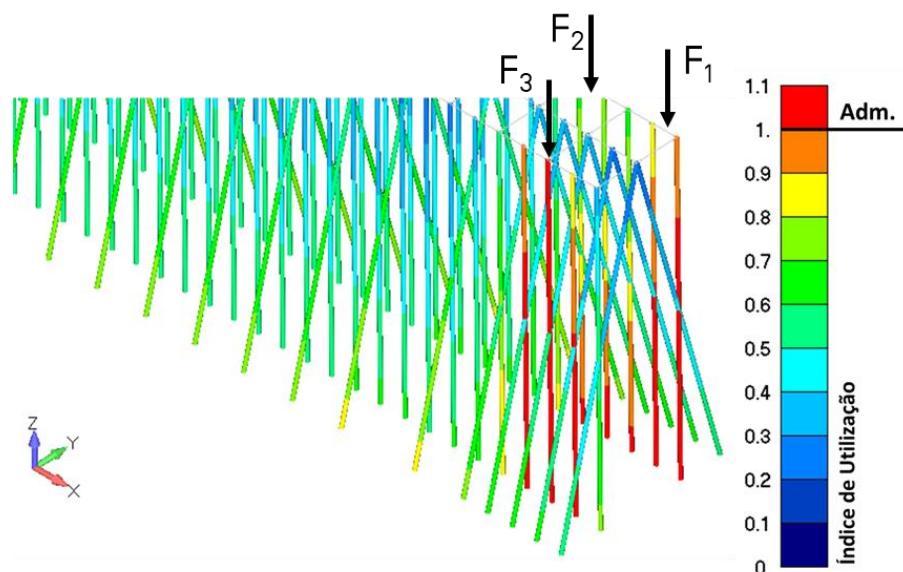


Figura 35: Resultado de I.U. das estacas na região de maior resistência.

## 2.1.14 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.

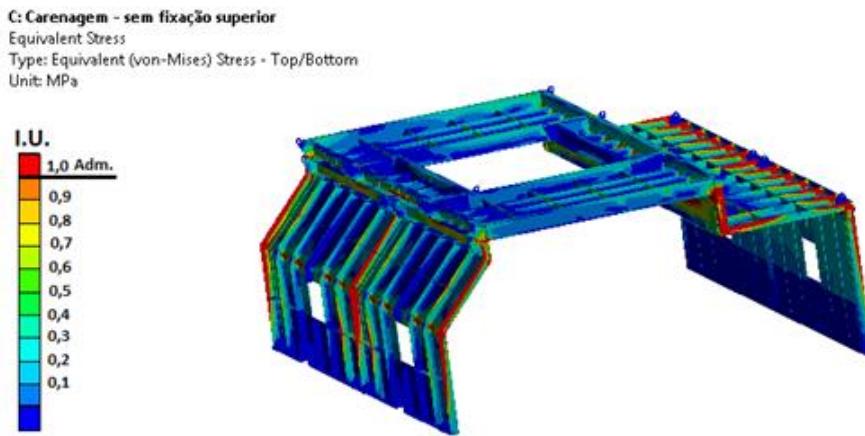


Figura 36: Resultado da análise estrutural de uma carenagem de um carro amostrador – sem pretensão adequada nos chumbadores.

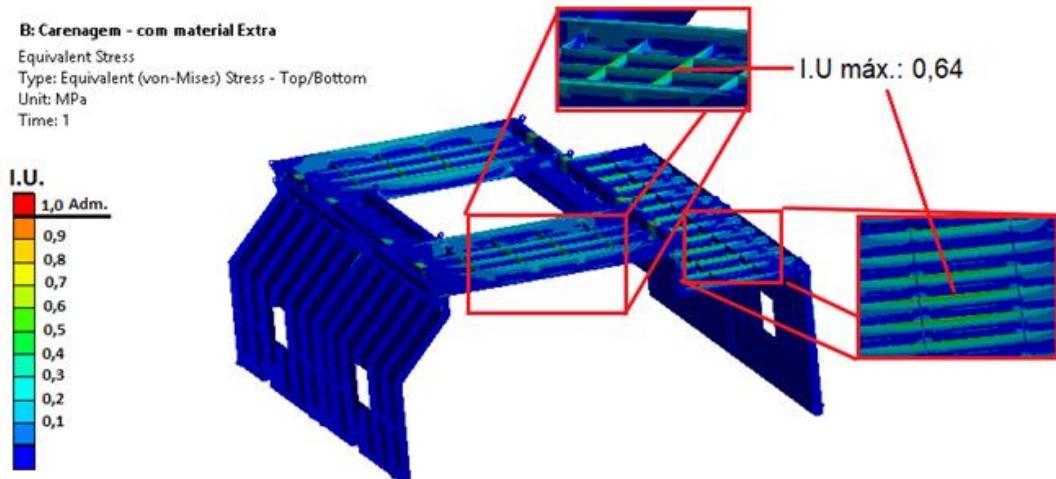


Figura 37: Resultado da análise estrutural de uma carenagem de um carro amostrador – com ligação adequada.

### 2.1.15 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.

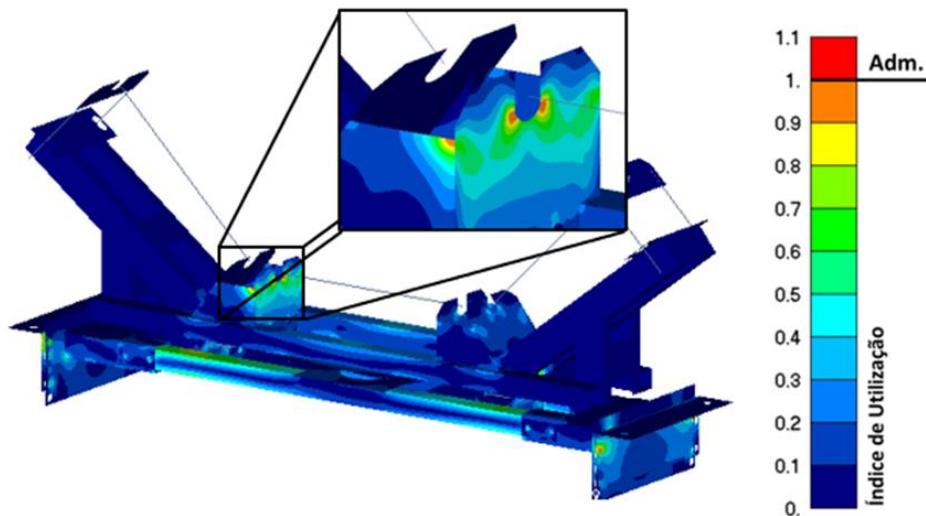


Figura 38: Resultado da verificação [aprovada] do estado limite último da estrutura reforçada.

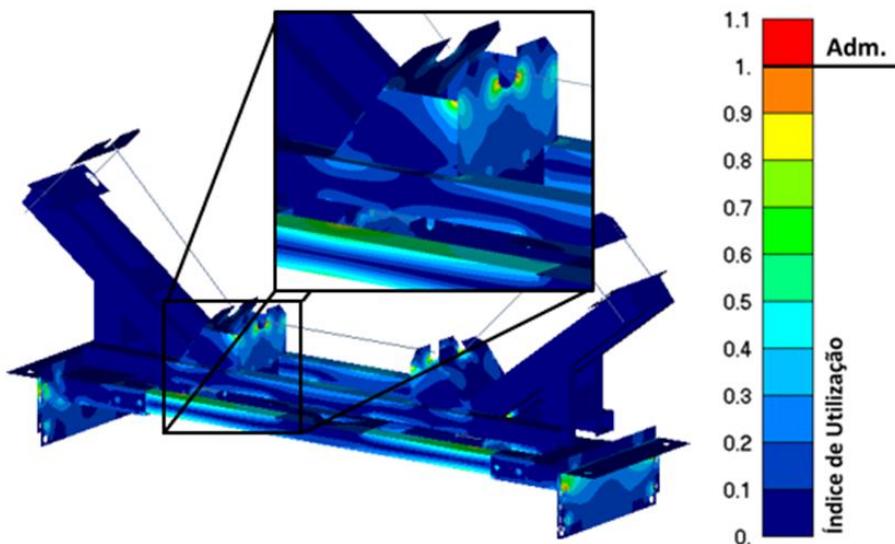


Figura 39: Resultado da verificação [aprovada] de vida útil requerida [fadiga] da estrutura reforçada.

### 2.1.16 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 AISC 360-16 e NBR 8800.

**Resultados alcançados:** Emissão de memorial de cálculo comprovando adequação da estrutura aos critérios de verificação e análise adotados.

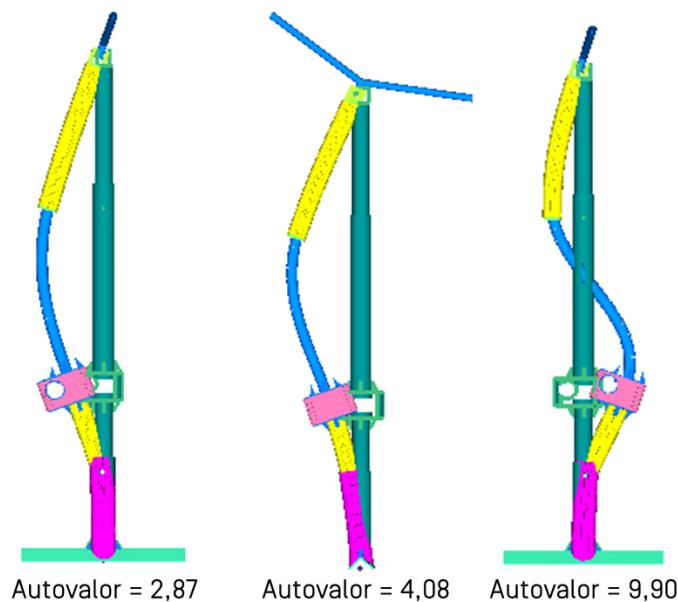


Figura 40: Resultado da verificação de flambagem da estrutura original.

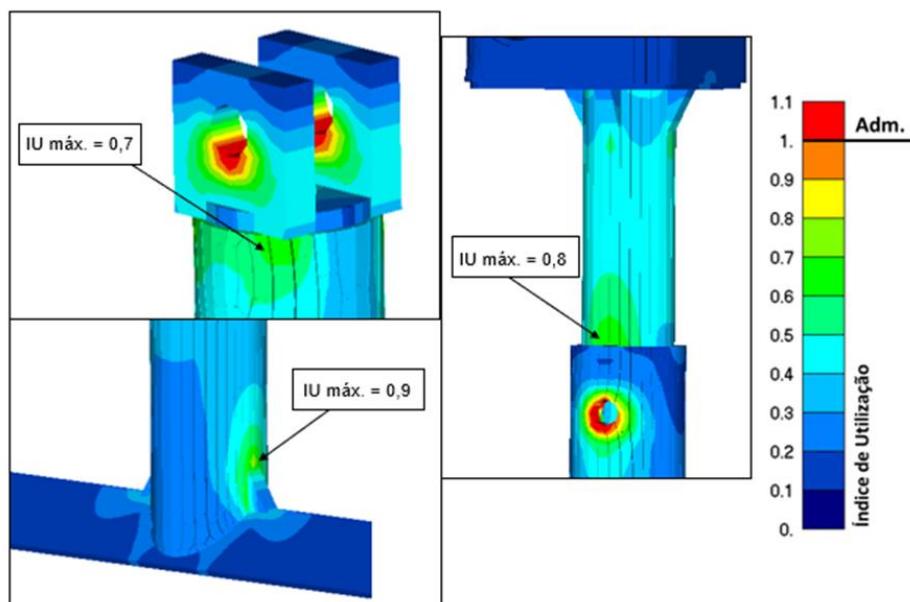


Figura 41: Resultado da verificação de estado limite último da estrutura original - detalhes.

### 2.1.17 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].

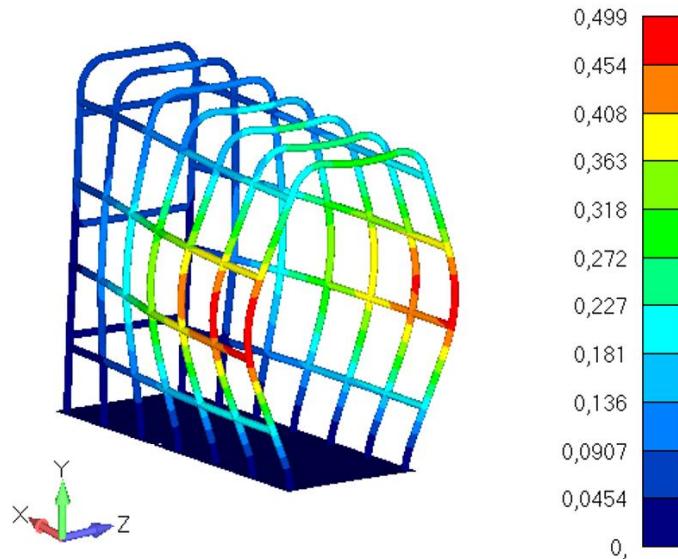


Figura 42: Resultado de deslocamentos da estrutura no caso de explosão do pneu durante o enchimento.

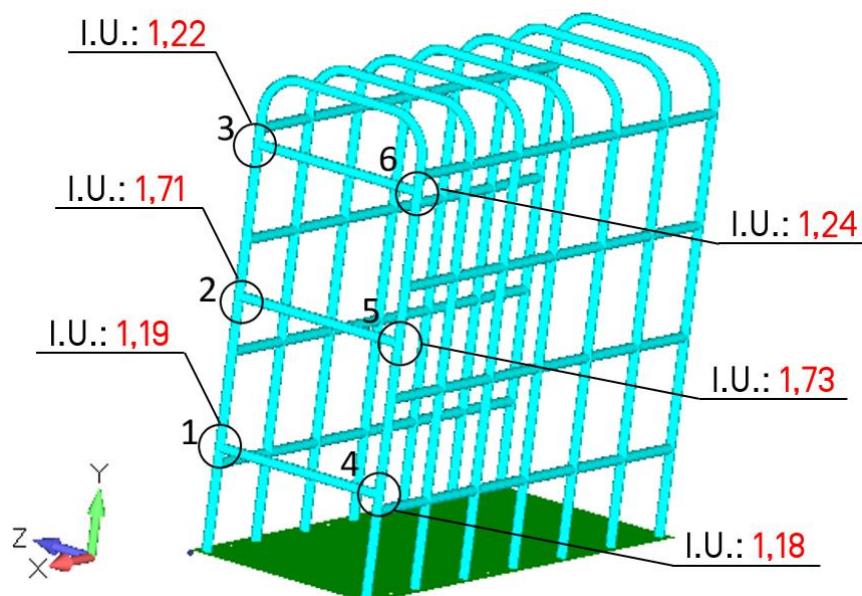


Figura 43: Soldas não conformes a serem reespecificadas.

### 2.1.18 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.

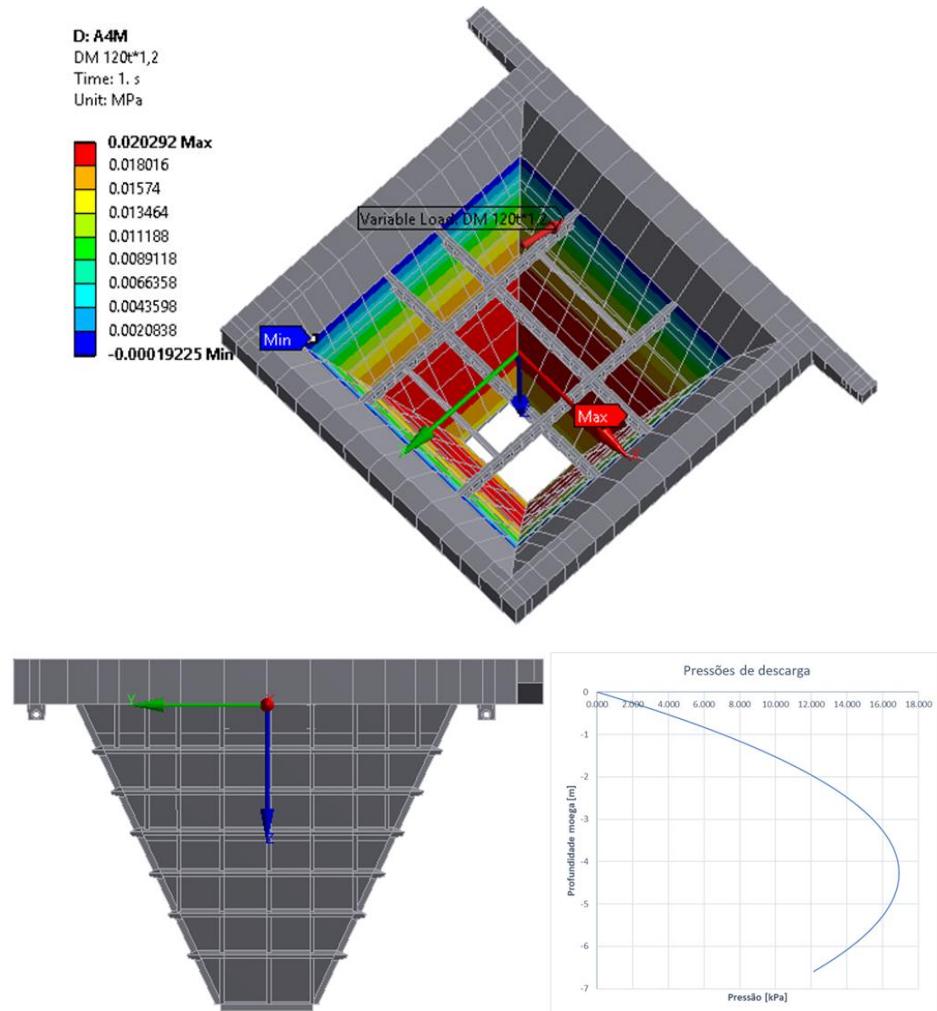


Figura 44: Pressões de descarga atuantes na moega calculados conforme AS3774.

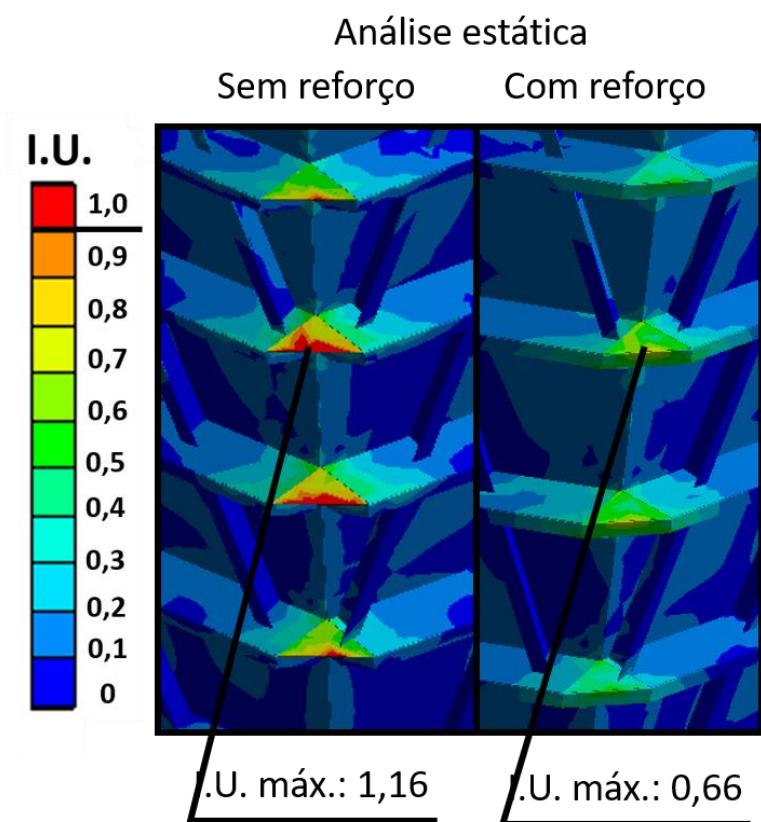


Figura 45: Resultado da análise estática da moega considerando a estrutura original [acima] e a estrutura reforçada [abaixo].

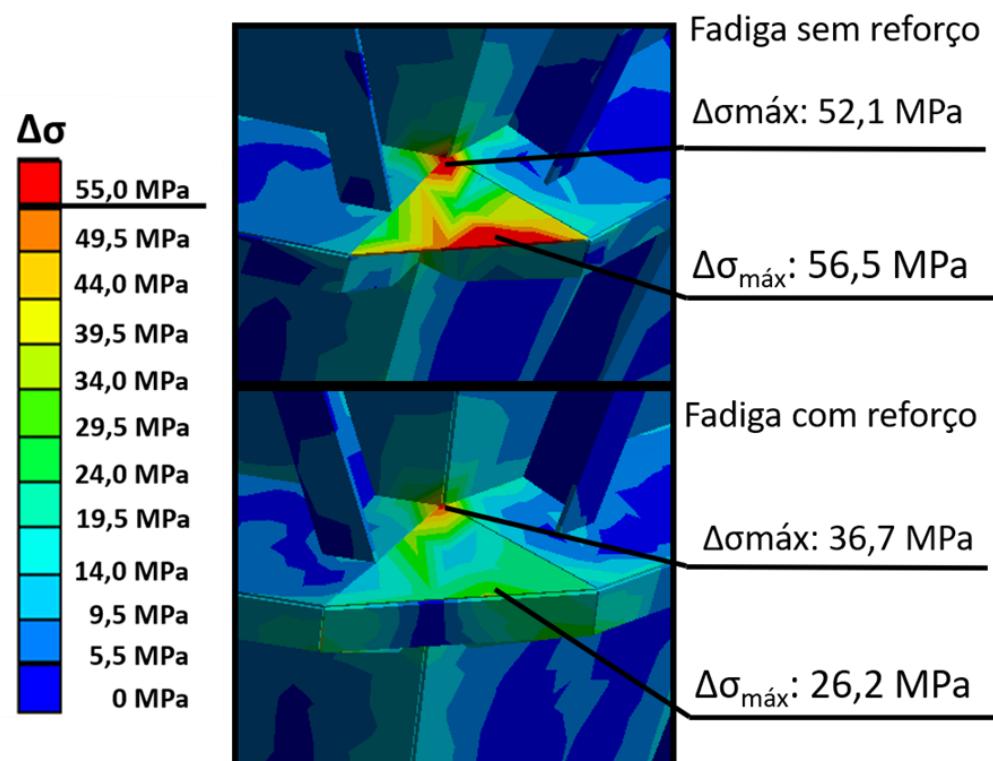


Figura 46: Resultado da análise de fadiga da moega considerando a estrutura original [acima] e a estrutura reforçada [abaixo].

### 2.1.19 Tanque de armazenamento de 8000 m<sup>3</sup> 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.

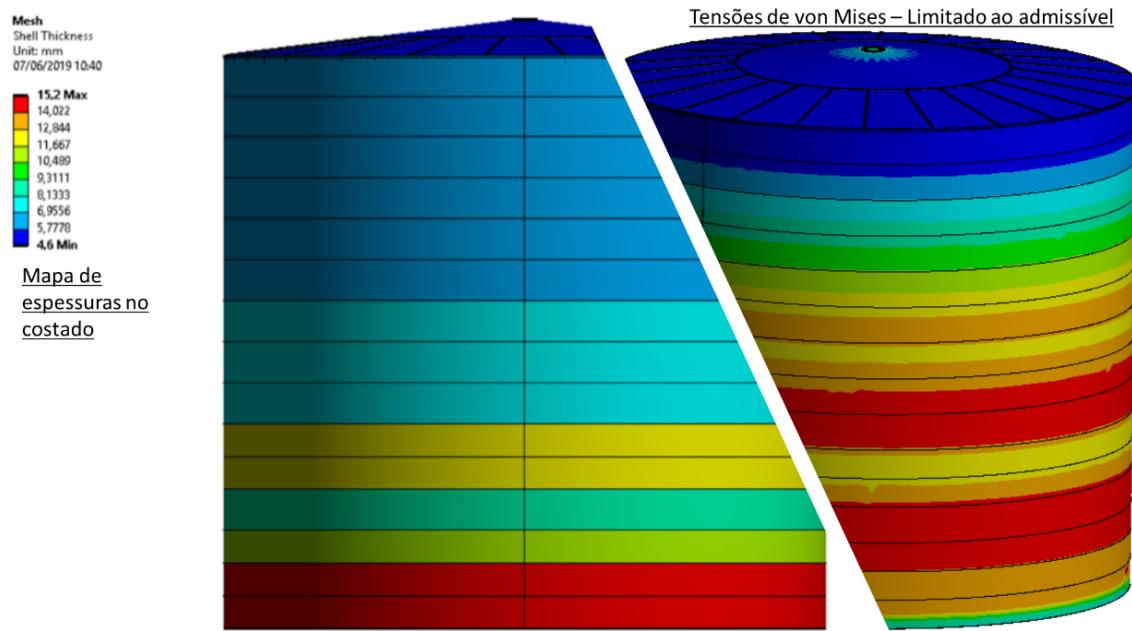


Figura 47: Mapa de espessuras no costado advindo de levantamento [esquerda] e tensões atuantes na estrutura [esquerda] em suas condições de campo.

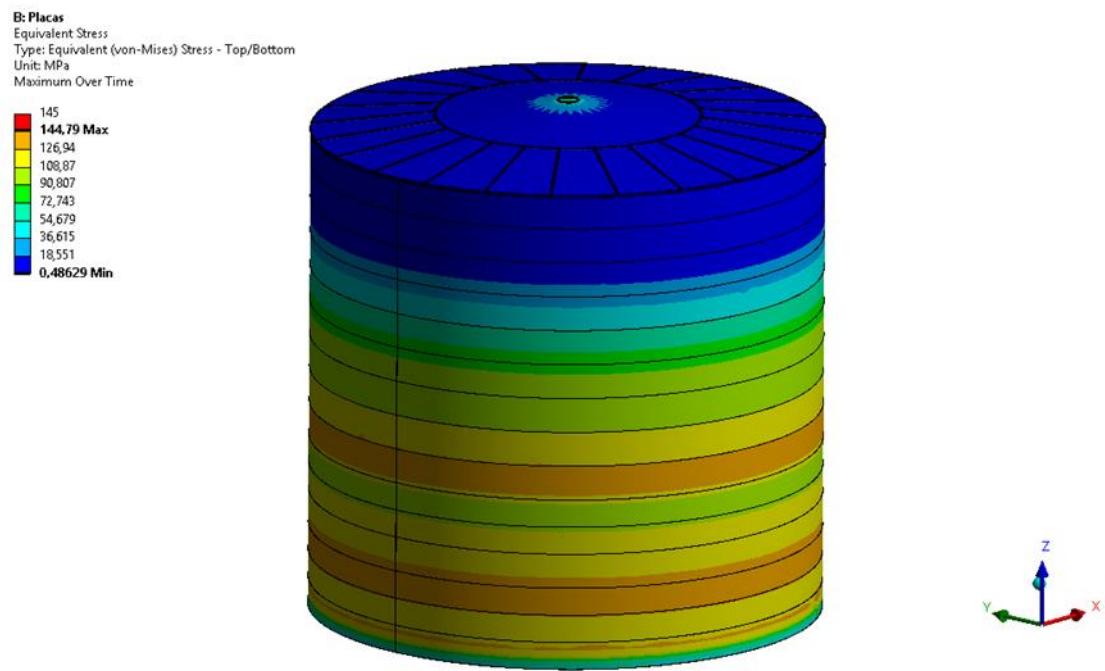


Figura 48: Tensões atuantes na estrutura reforçada.

## 2.1.20 Análise Termoestrutural de panela 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 termoestruturais 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 termoestrutural 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.

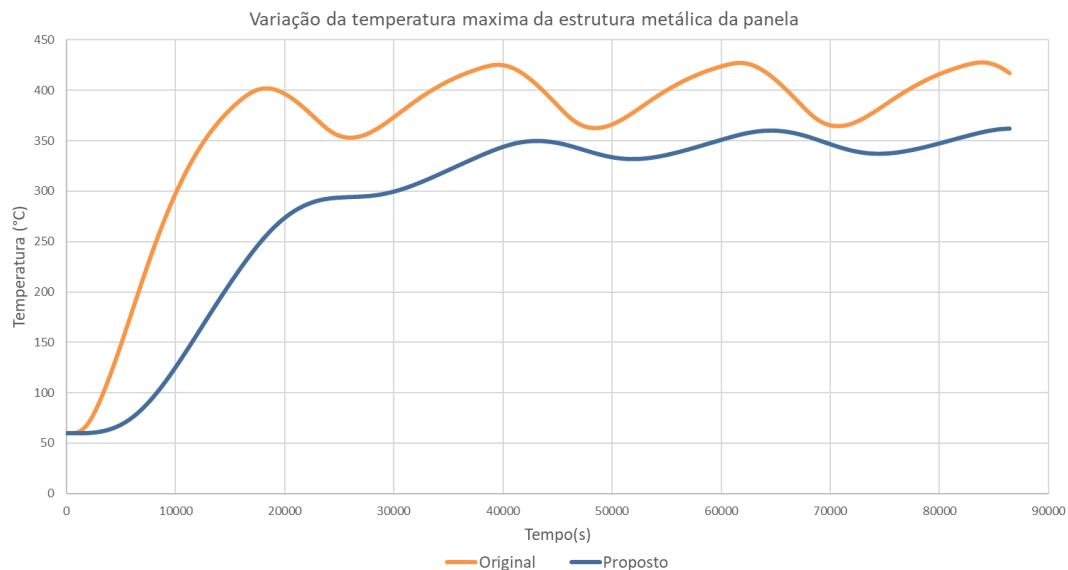


Figura 49: Comparação da variação de temperatura da estrutura metálica da panela do projeto original com o proposto.

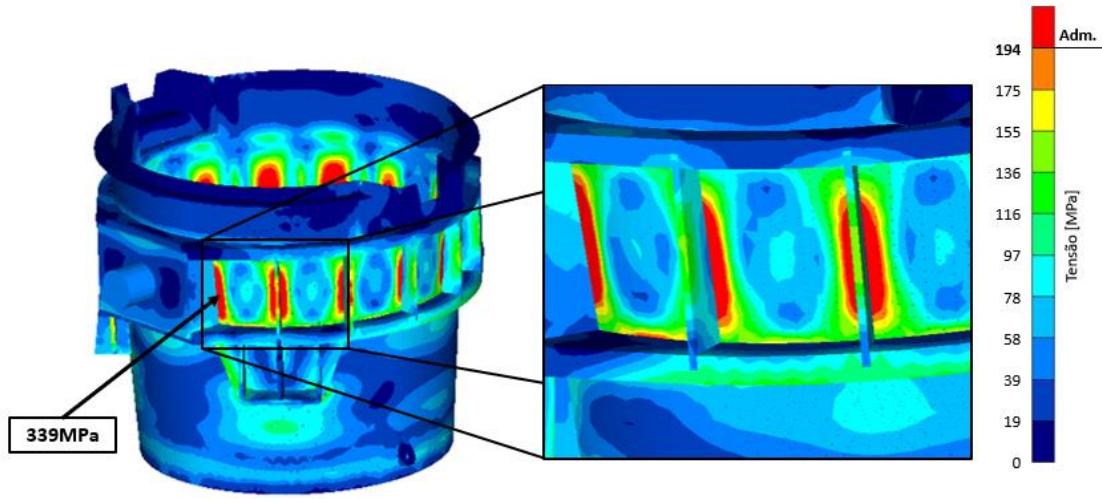


Figura 50: Distribuição de tensões de Von Mises na estrutura metálica da panela do projeto original.

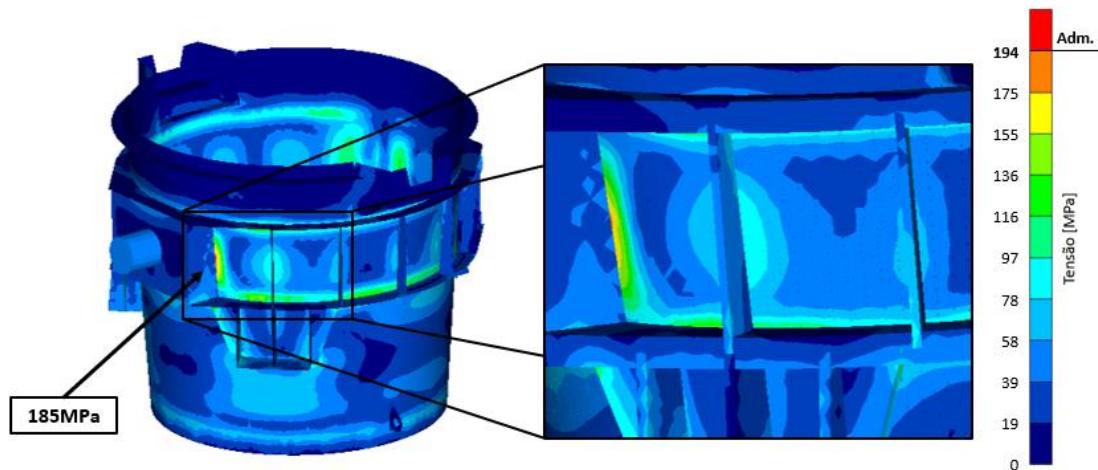


Figura 51: Distribuição de tensões de Von Mise na estrutura metálica da panela após aplicação das alterações propostas.

## 2.2 ANÁLISE VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS [DEM]

### 2.2.1 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.

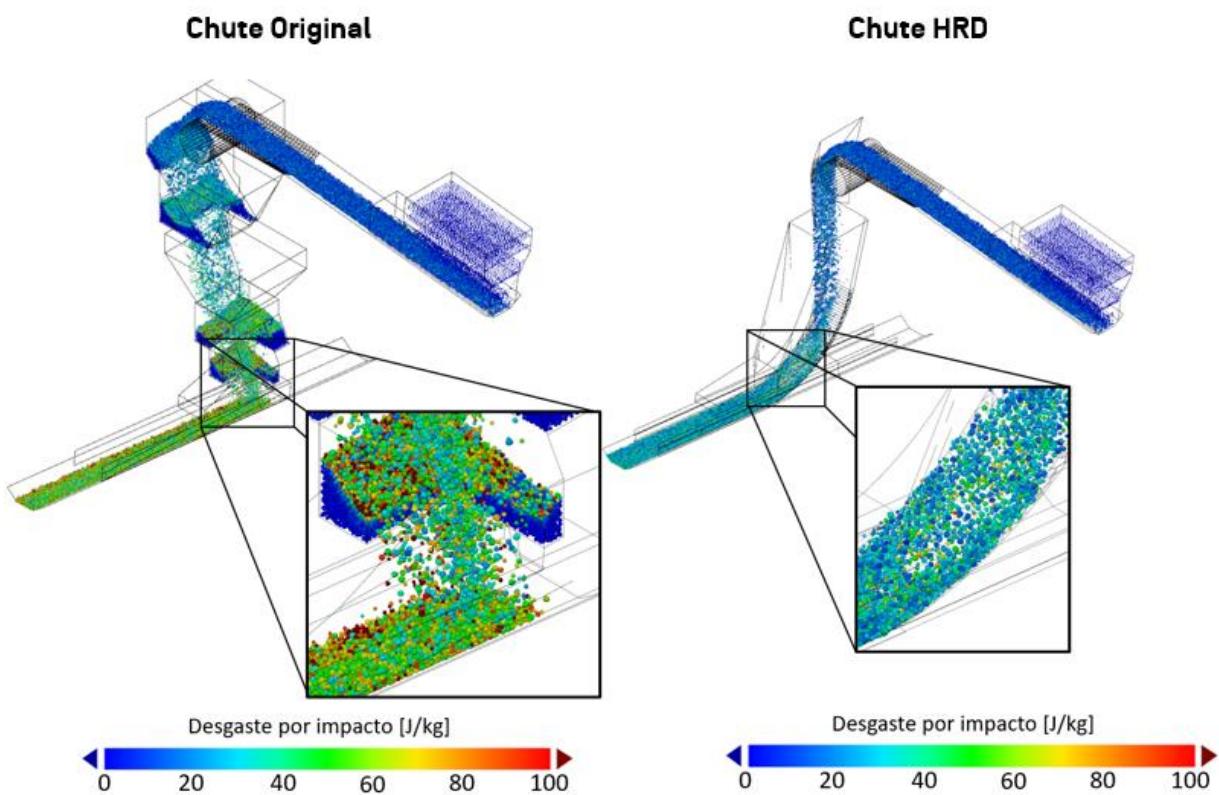


Figura 52: Comparação de desgaste por impacto nas pelotas entre o Chute Original e o Chute proposto pela HRD.

### Chute Original

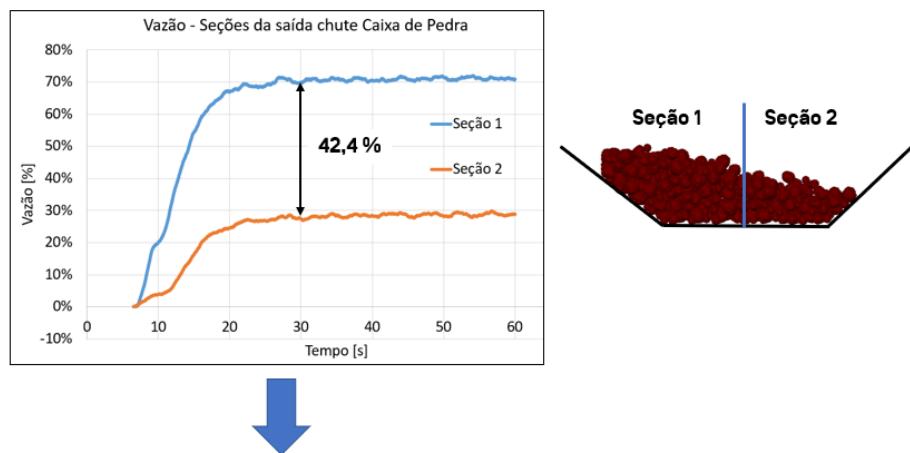


Figura 53: Vazão de material na correia de recebimento. Comparaçao entre o Chute Original e o Chute proposto pela HRD.

## 2.2.2 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 regulagem da distribuição do fluxo de saída.

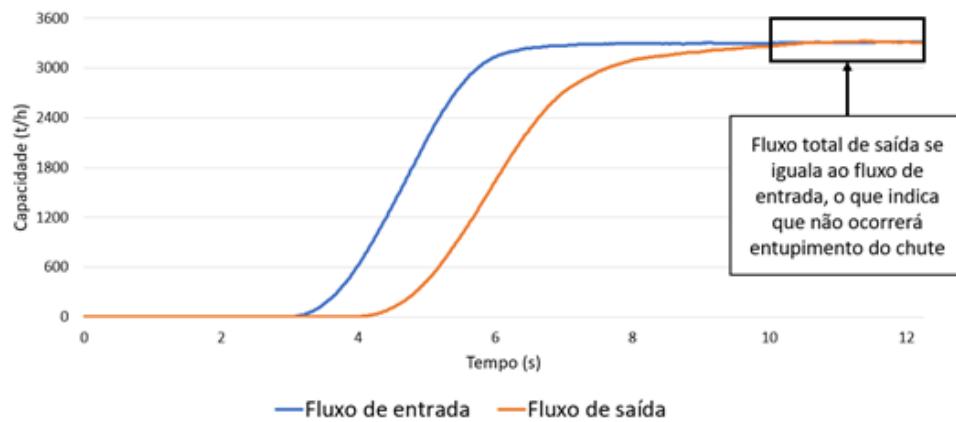


Figura 54: Gráfico de fluxos de entrada e saída por tempo para verificação de entupimento de chute.

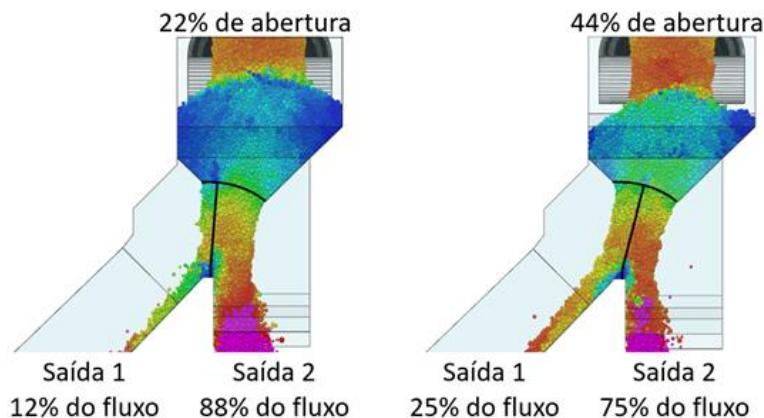


Figura 55: Análises DEM para estudo do fluxo de material em diferentes posições da válvula de desvio de fluxo.

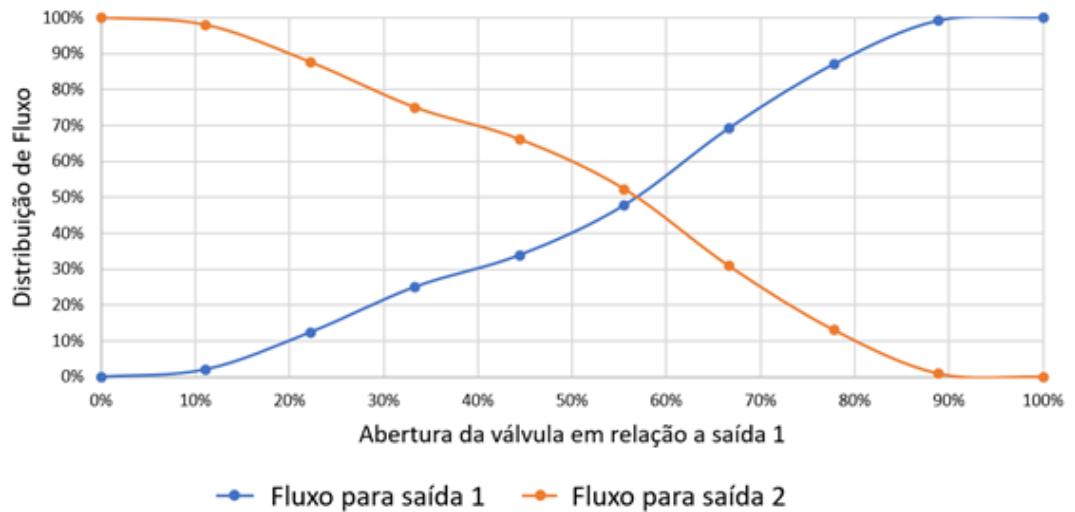


Figura 56: Gráfico de distribuição de fluxo em função da abertura da válvula obtido a partir dos resultados das análises DEM.

## 2.3 ELABORAÇÃO DE MODELOS CAD 3D

### 2.3.1 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 preciso 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.

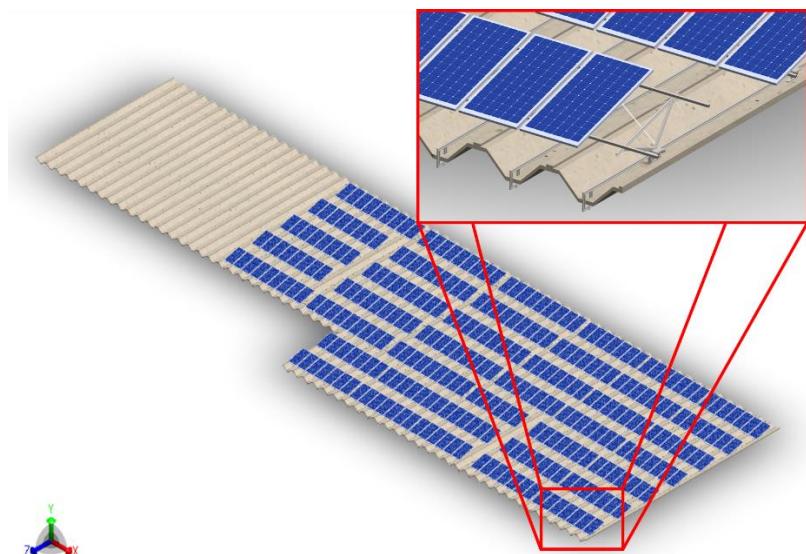


Figura 57: Estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos [montagem e estrutura] – modelo CAD 3D.

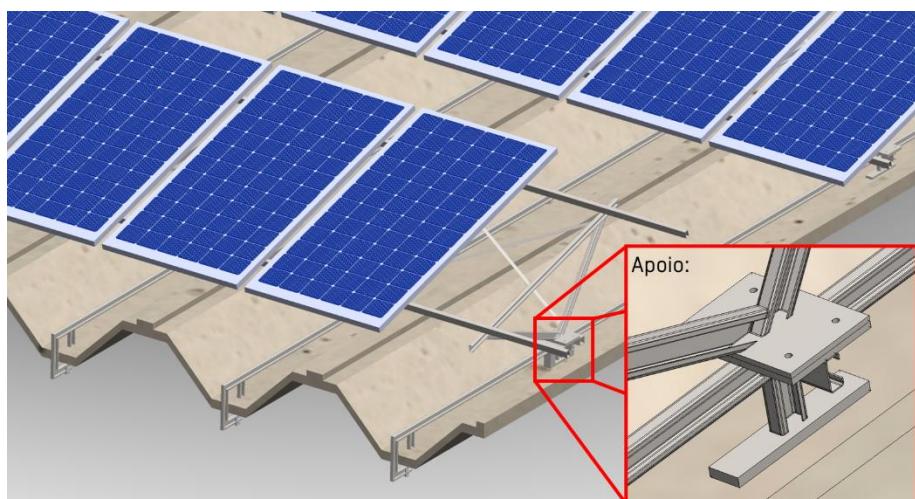


Figura 58: Estrutura de suporte de painéis fotovoltaicos [detalhe do apoio] – modelo CAD 3D.

### 2.3.2 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.

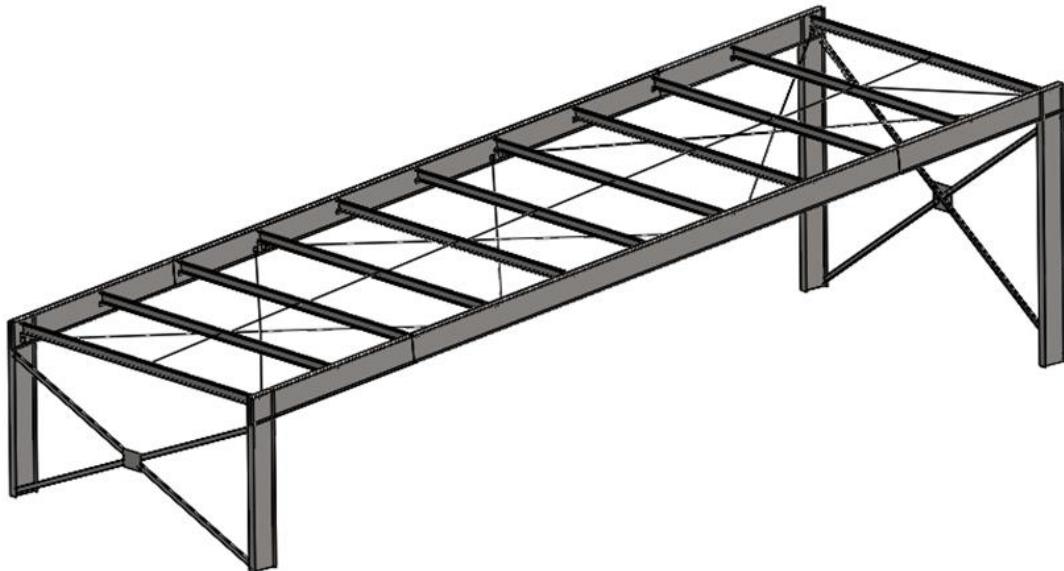


Figura 59: Estruturas da cobertura – modelo CAD 3D.

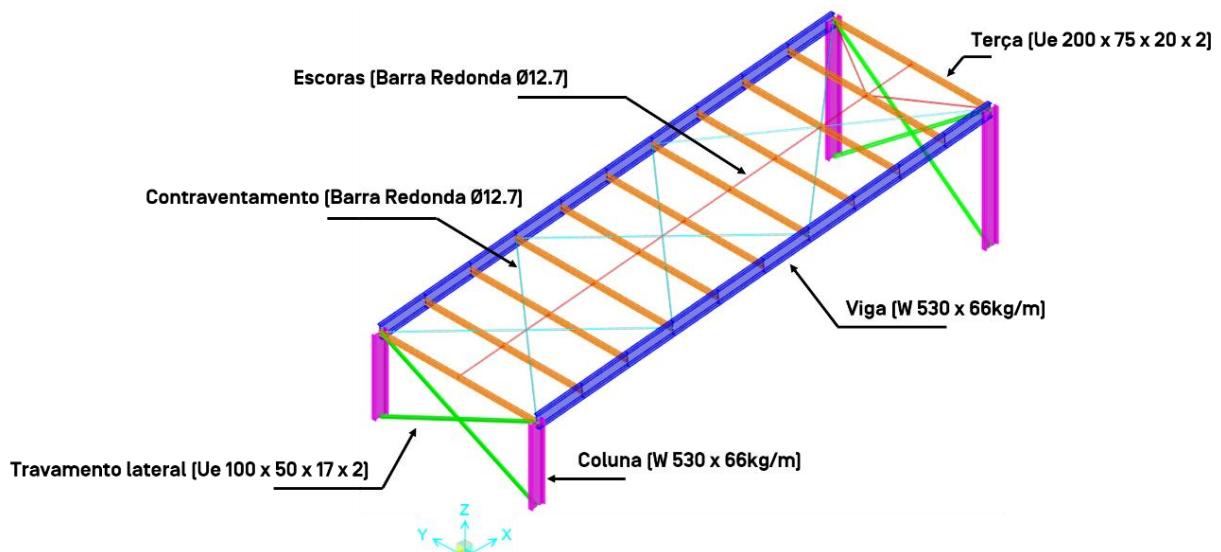


Figura 60: Estruturas da cobertura – modelo em elementos finitos.

### 2.3.3 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.

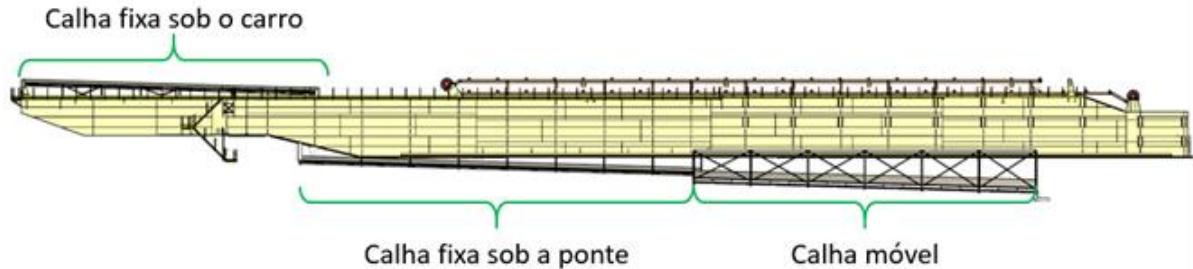


Figura 61: Estruturas das calhas fixadas na máquina [posição avançada] – modelo CAD 3D.

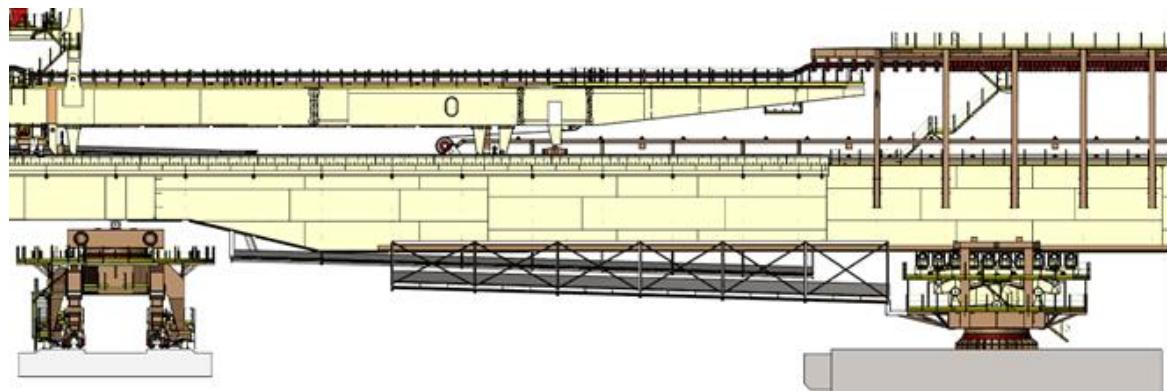


Figura 62: Estruturas das calhas fixadas na máquina [posição recuada] – modelo CAD 3D.

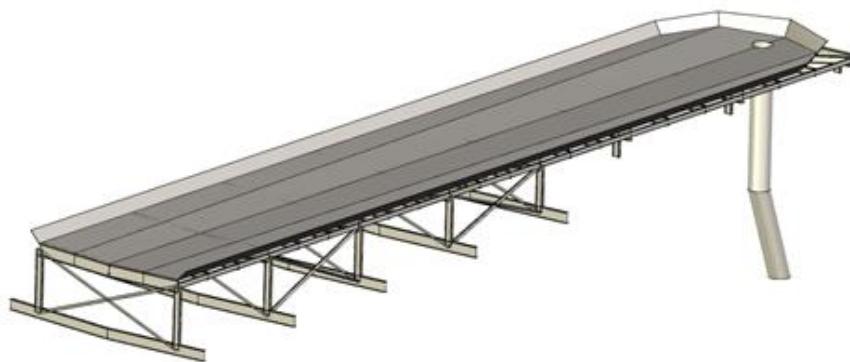


Figura 63: Detalhe da estrutura da calha fixa sob o carro – modelo CAD 3D.

### 2.3.4 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.

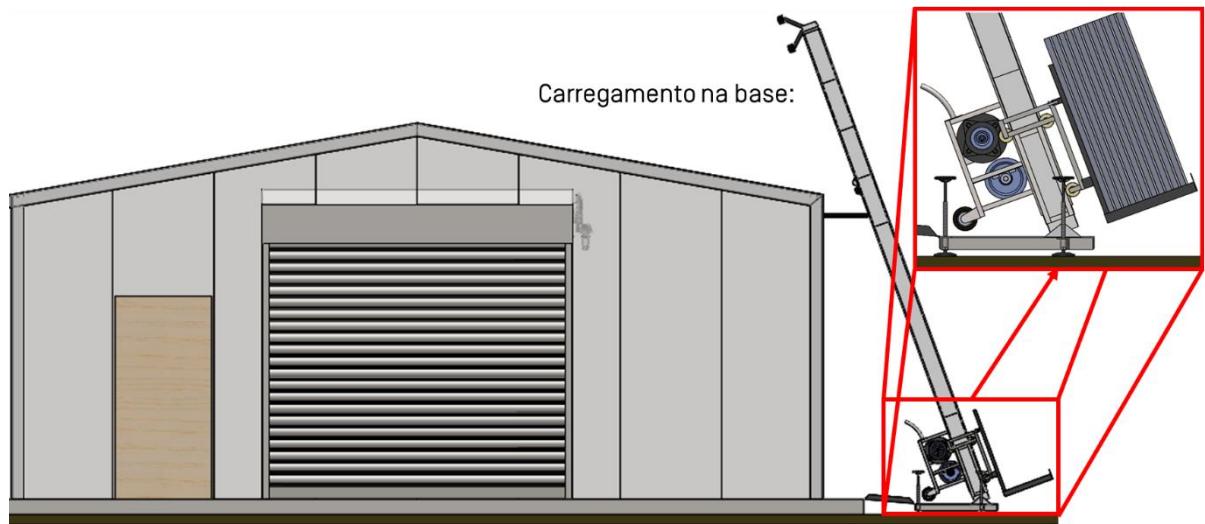


Figura 64: Elevador de cargas [carregamento] – modelo CAD 3D.

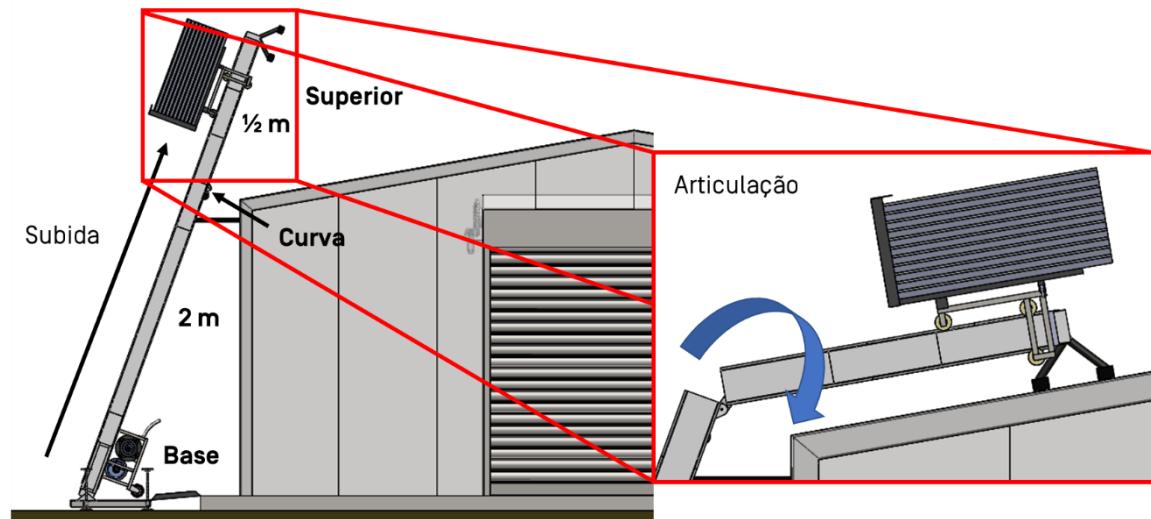


Figura 65: Elevador de cargas [subida e articulação] – modelo CAD 3D.

### 2.3.5 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.

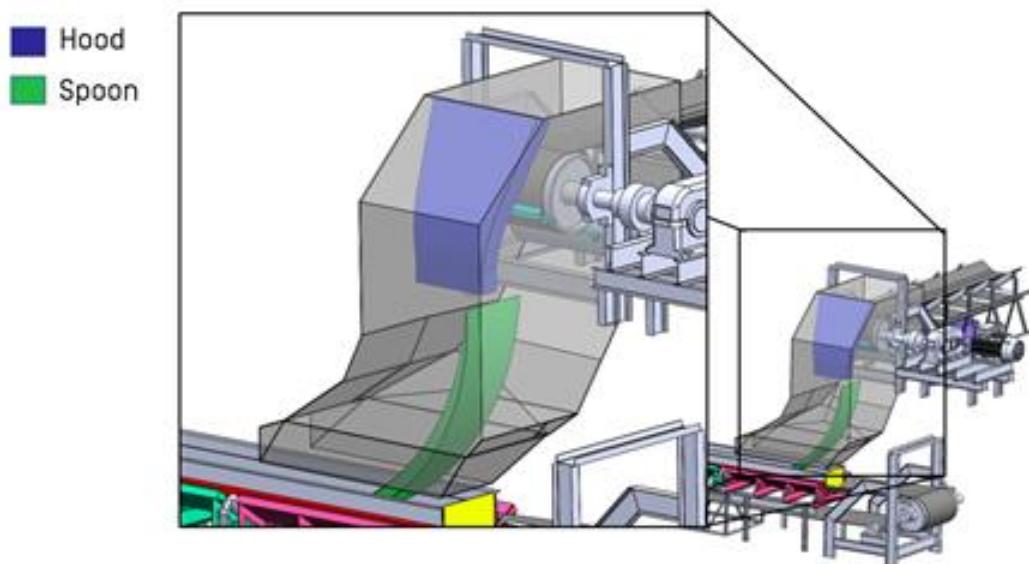


Figura 66: Reengenharia de transferência – Modelo CAD 3D.

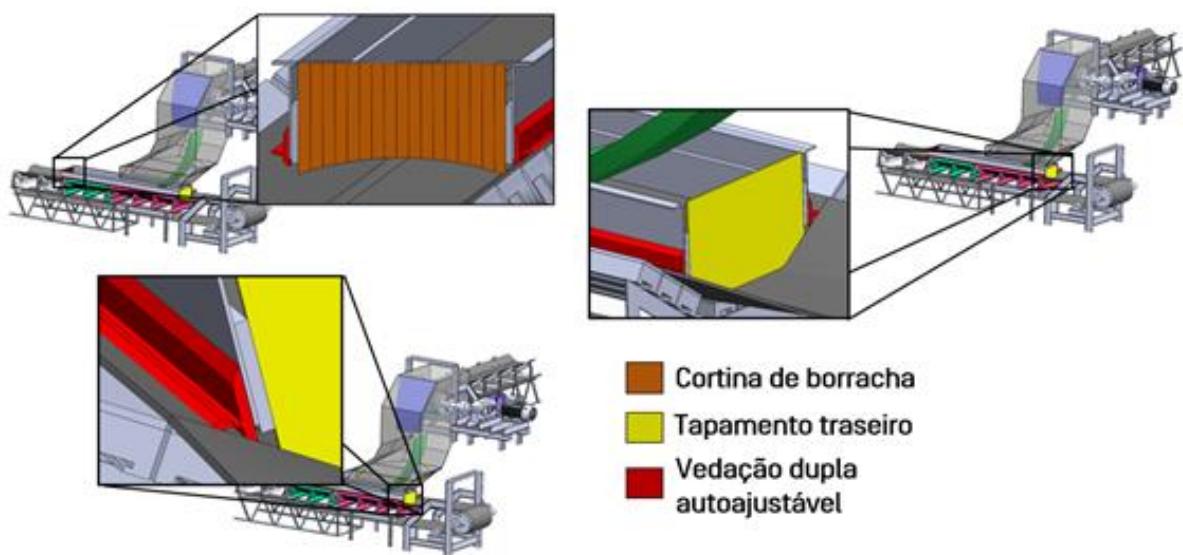


Figura 67: Eclusuramento da transferência – Modelo CAD 3D.

## 2.4 PROJETOS MECÂNICOS

### 2.4.1 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.

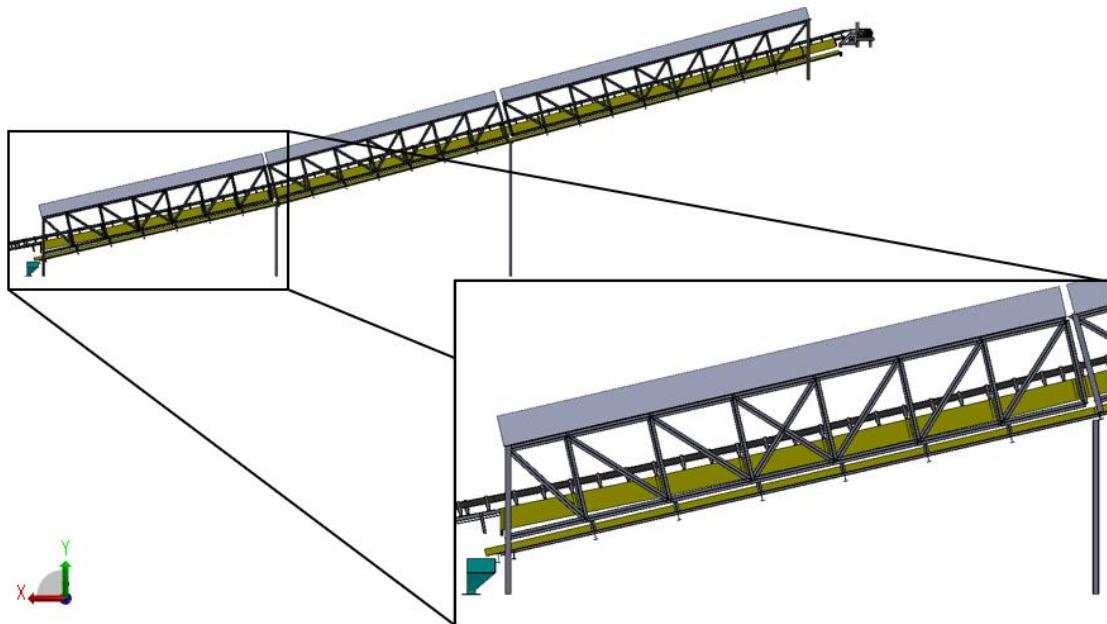


Figura 68: Projeto de calha fluidizada instalado no transportador de correia –  
Modelo CAD 3D.

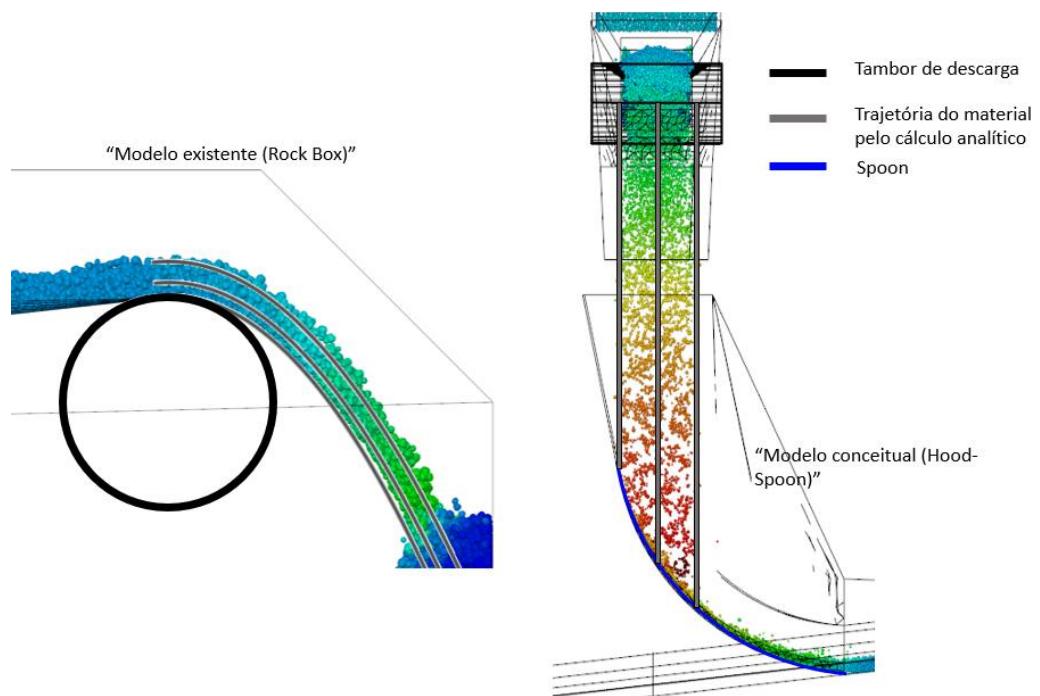


Figura 69: Reengenharia de chutes de transferência com aplicação do modelo Hood-Spoon – análise DEM.

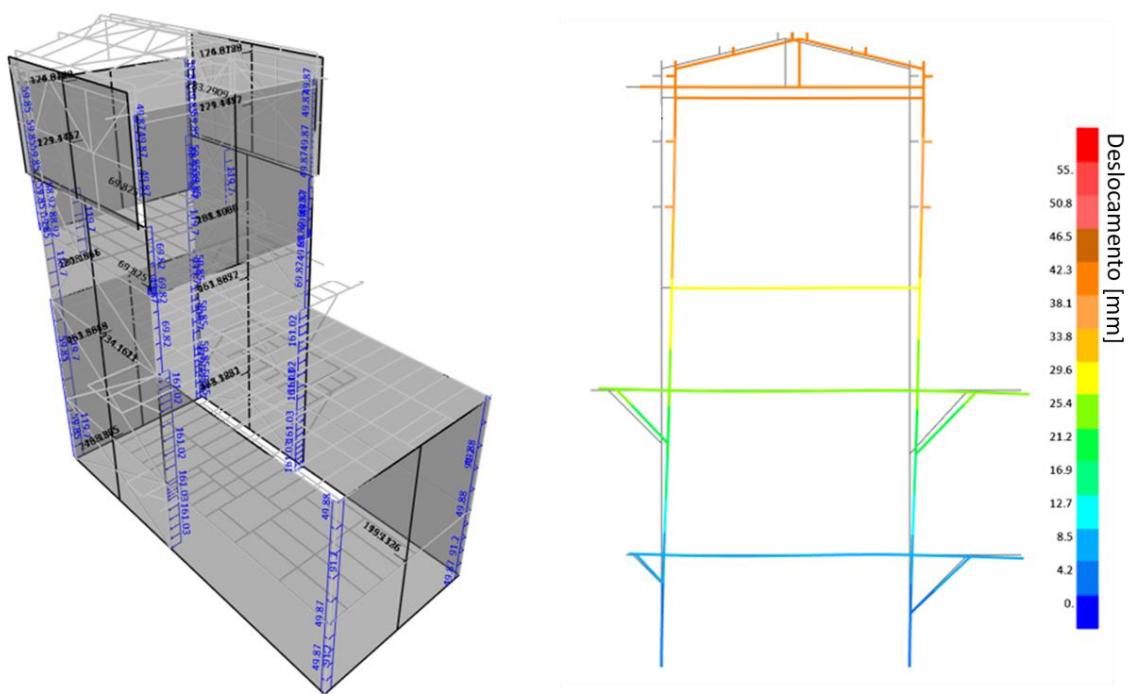


Figura 70: Tapamento das casas de transferência para diminuição do fluxo de ar no seu interior - verificação estrutural devido ao acréscimo da carga de vento na estrutura.

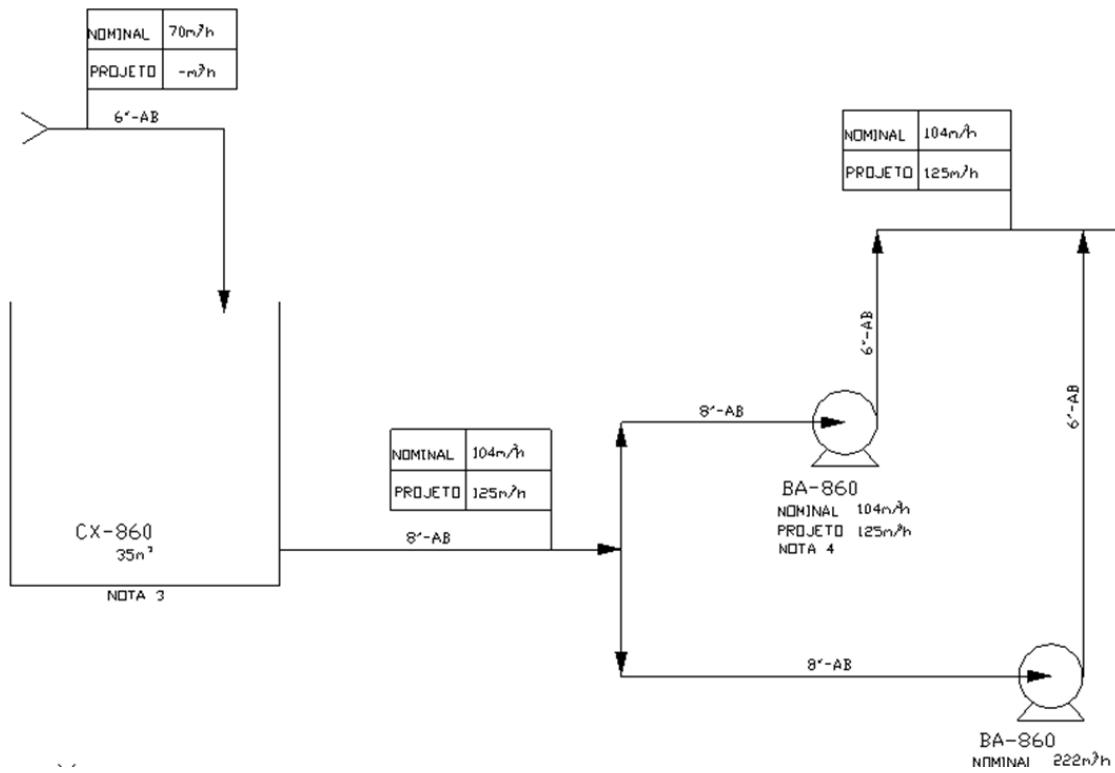


Figura 71: Projeto de sistemas de tubulações – elaboração de desenho técnico.

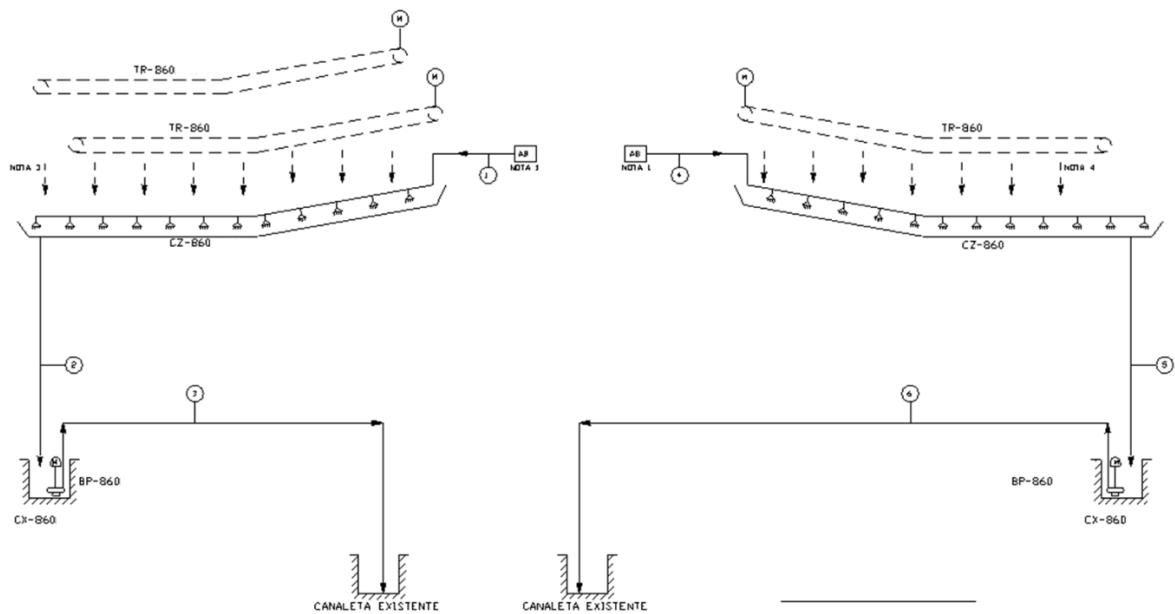


Figura 72: Fluxograma dos processos relativos à adição de calha fluidizada em transportadores de correia.

#### 2.4.2 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.

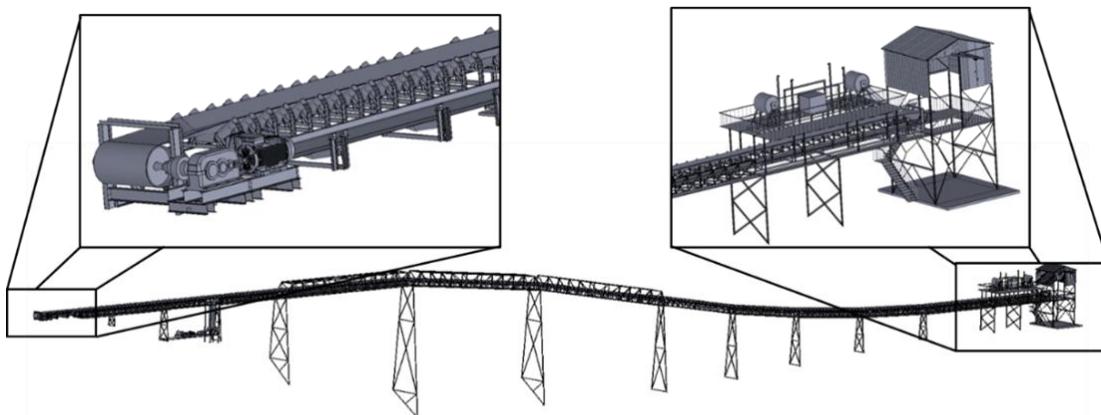


Figura 73: Modelagem 3D de um transportador componente da linha TCLD.

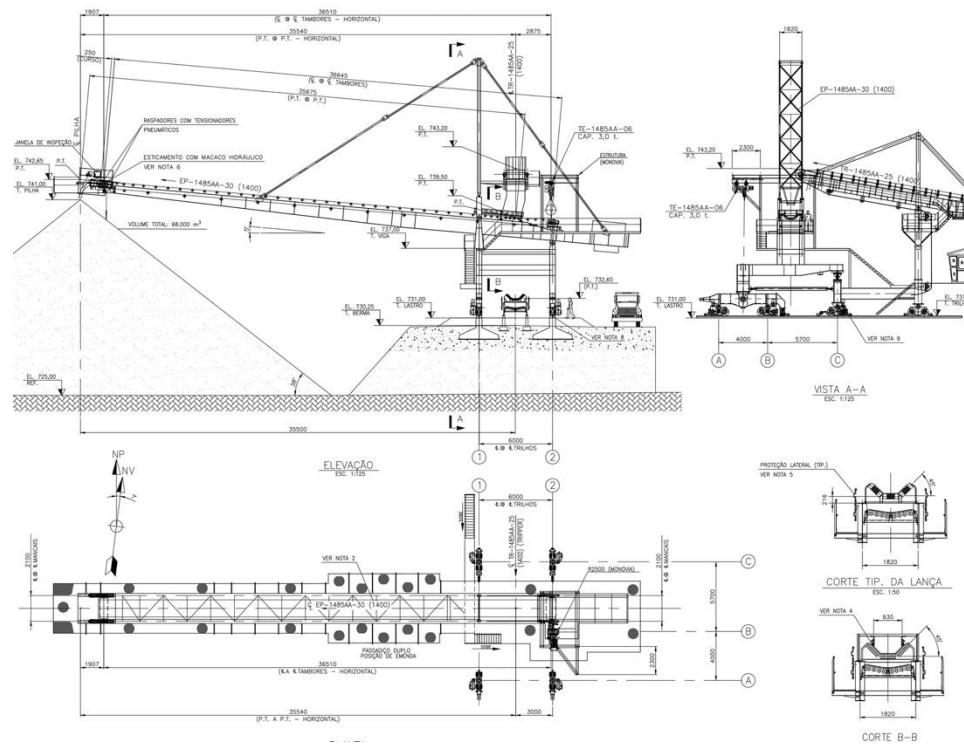


Figura 74: Desenho técnico da máquina de pátio especificada.

#### 2.4.3 Análise mecânica de Transportador de Correia de pátio de minério

**Motivação da análise:** O Transportador de Correia instalado em pátio de minério apresentou falha recorrente durante a partida quando carregado de material [mesmo com enchimento abaixo da capacidade de projeto]. Objetivou-se determinar a causa da falha e elaborar proposta de solução.

**Desenvolvimento:** Estudo das curvas de acionamento dos motores e dos acoplamentos hidrodinâmicos, via análise dinâmica da partida. Verificação da potência consumida e pico de torque requerido para partida, baseado em critérios definidos na CEMA [Referência técnica para especificações de transportadores de correia].

**Resultados alcançados:** Indicada causa raiz da falha e apresentadas propostas de intervenção. As modificações foram realizadas e o transportador passou a partir sob carga máxima de projeto sem ocorrência de anormalidades.

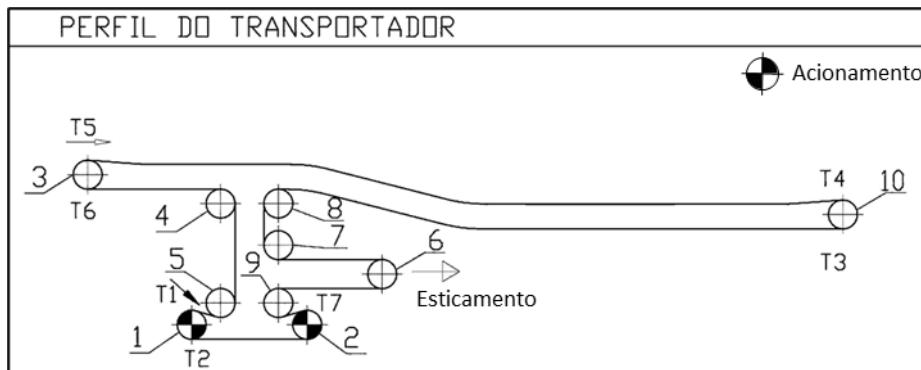


Figura 75: Perfil do Transportador de Correia avaliado.

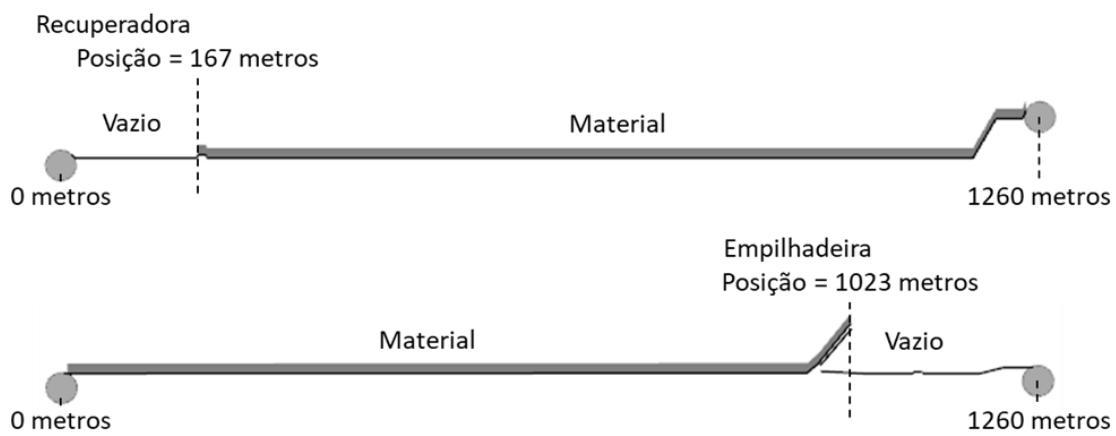


Figura 76: Diferentes condições de carregamento avaliadas.

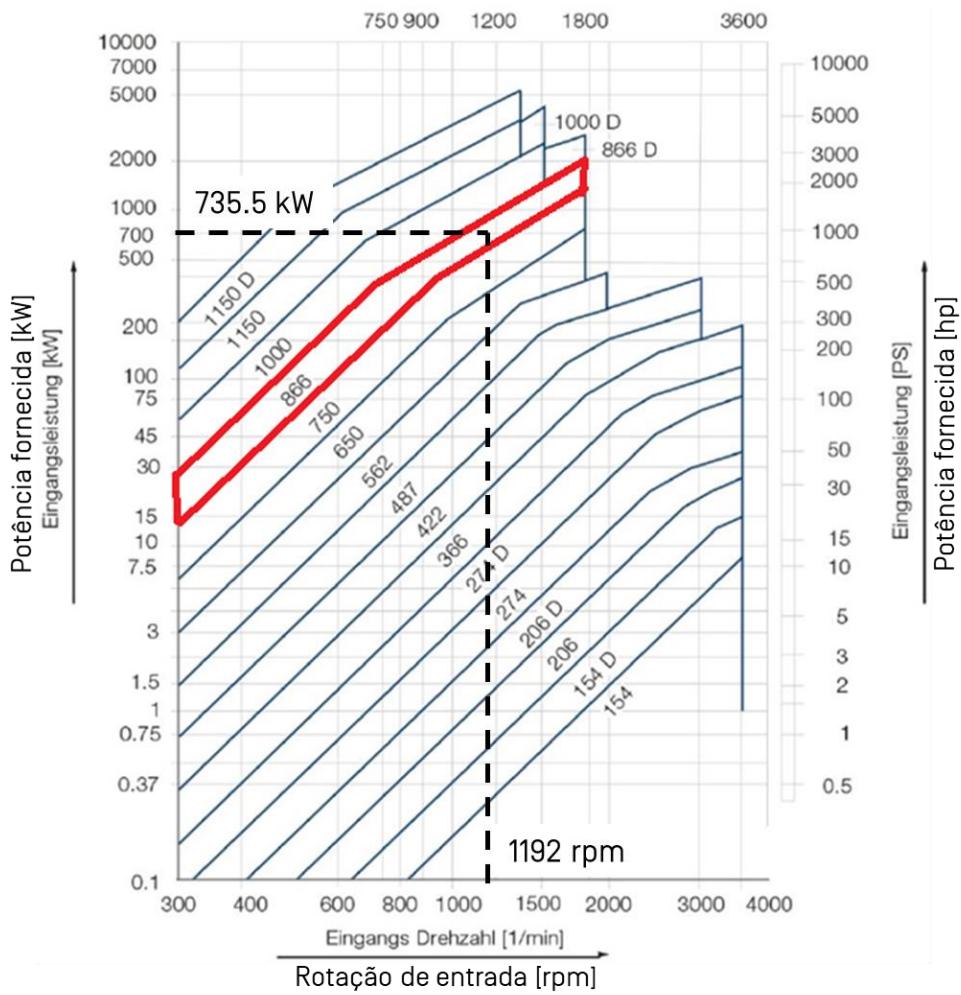


Figura 77: Curva de seleção de acoplamentos hidrodinâmicos.



Figura 78: Novo acoplamento hidrodinâmico instalado.

#### 2.4.4 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 transitório 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.

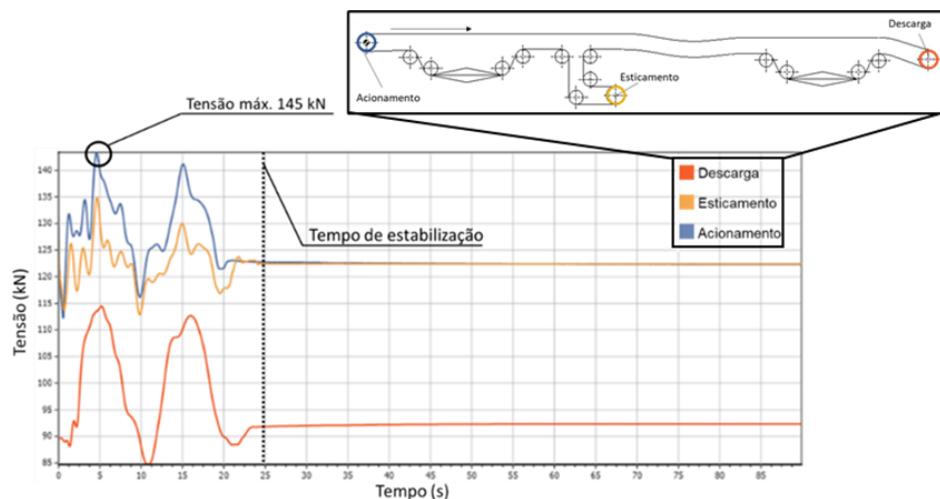


Figura 79: Tensões na correia do TCLD durante o transiente de parada.

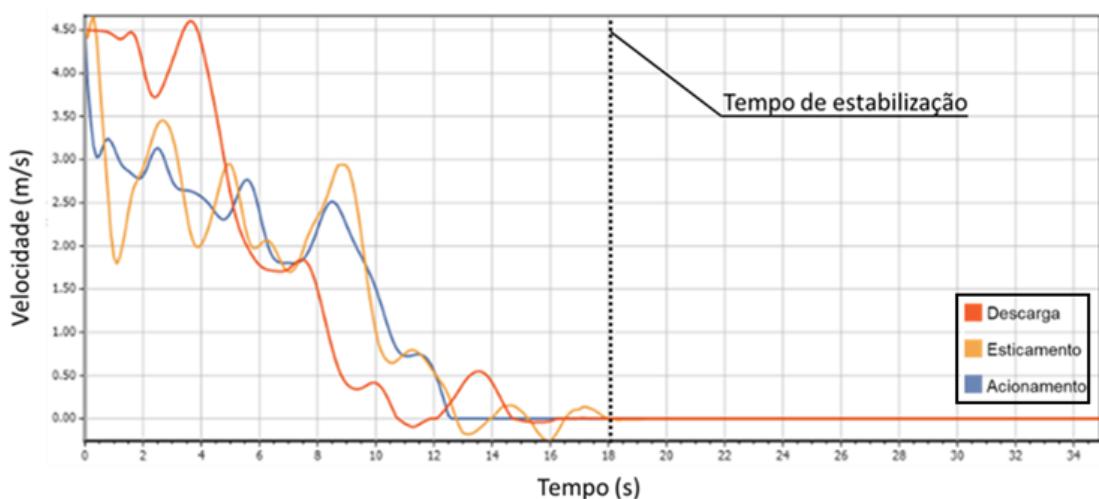


Figura 80: Velocidade da correia do TCLD durante o transiente de parada de emergência.

## 2.4.5 Sistema de despoeiramento – projeto mecanico

**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.

Tabela 1: Comparativo dos sistemas de despoeiramento original e projeto HRD.

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

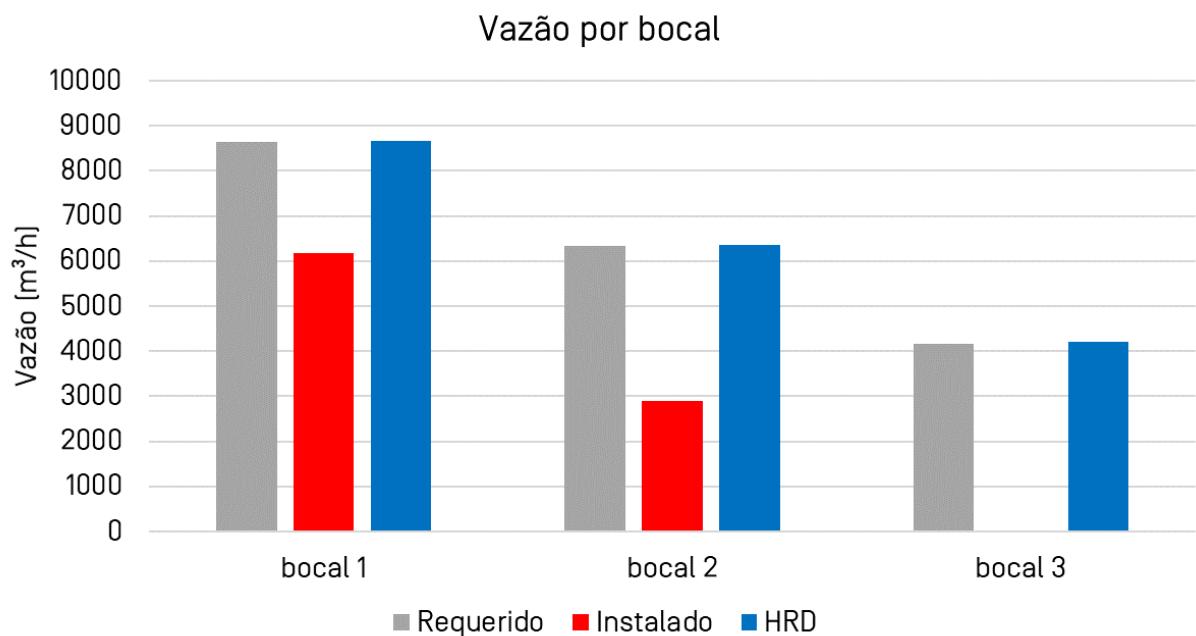


Figura 81: Comparativo entre as vazões por bocal do projeto original do sistema de despoeiramento e o novo projeto HRD.

## 2.4.6 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.

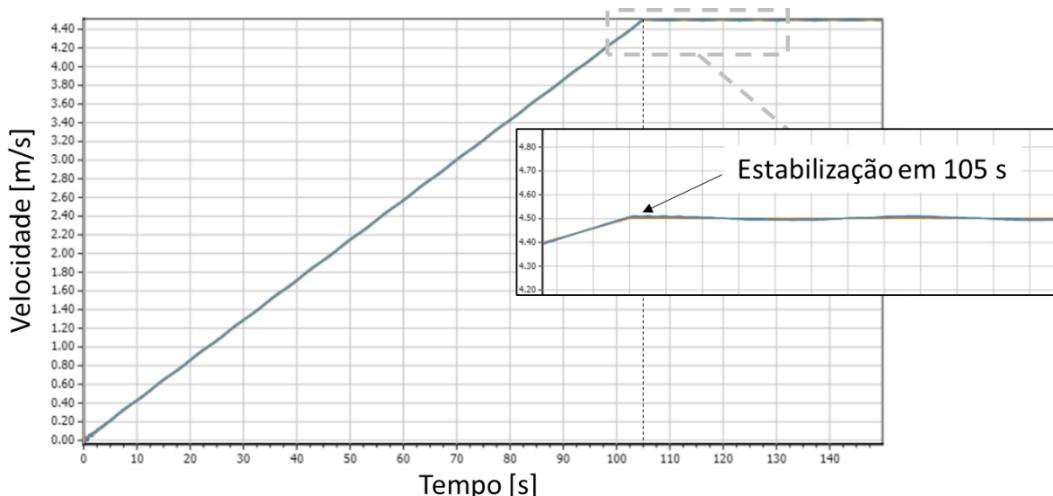


Figura 82: Velocidade da correia do transportador de correia de longa distância (TCLD) durante a partida com capacidade de projeto.

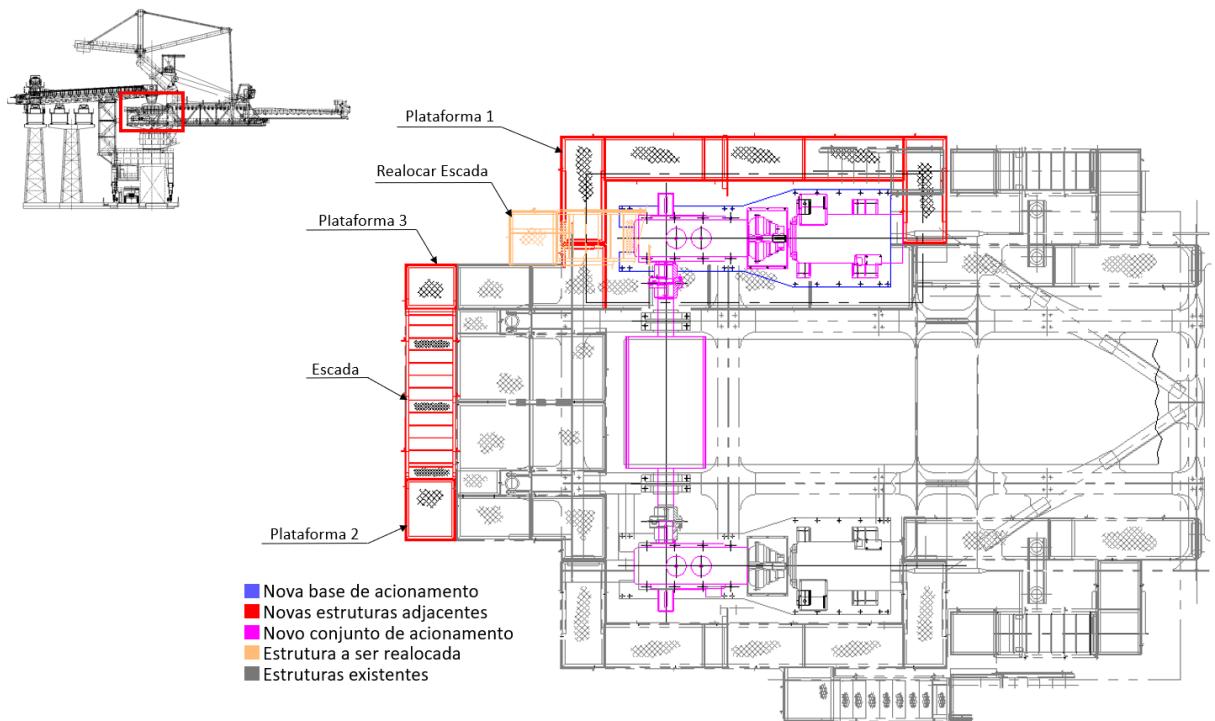


Figura 83: Modificação no conjunto de acionamento do transportador da Lança do Carregador de Navios.



Figura 84: Índice de utilização das rodas do sistema de translação do transportador móvel.

## 2.5 PROJETOS ESTRUTURAS METÁLICAS

### 2.5.1 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, NBR6120, 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.

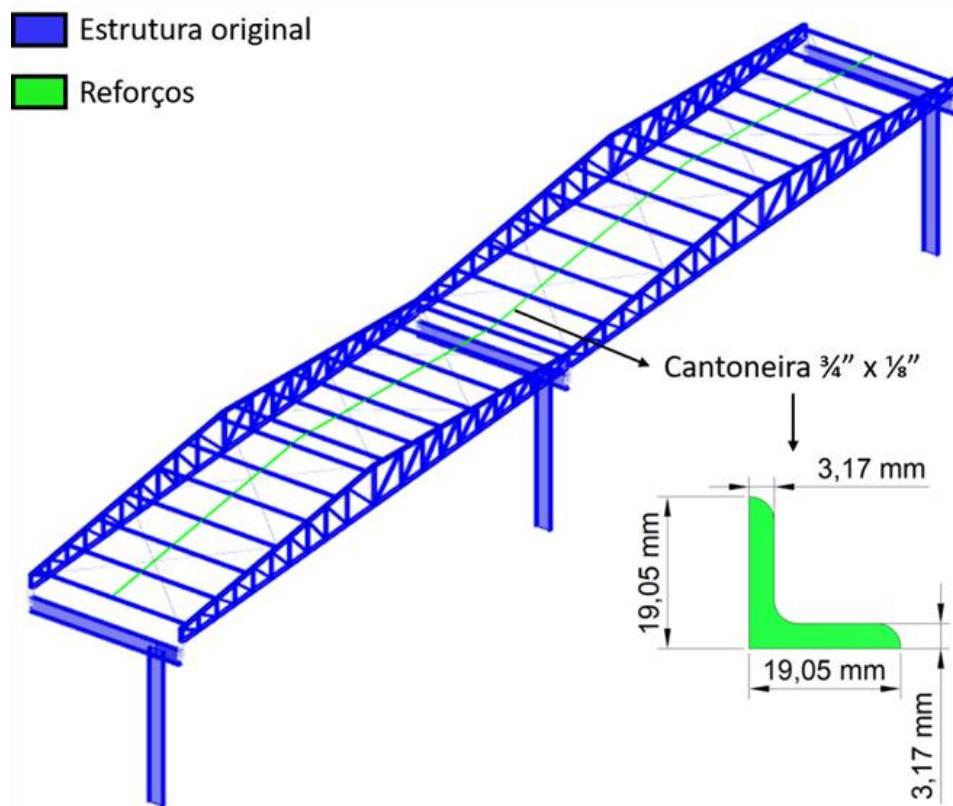


Figura 85: Reforço proposta para a estrutura do galpão analisado.

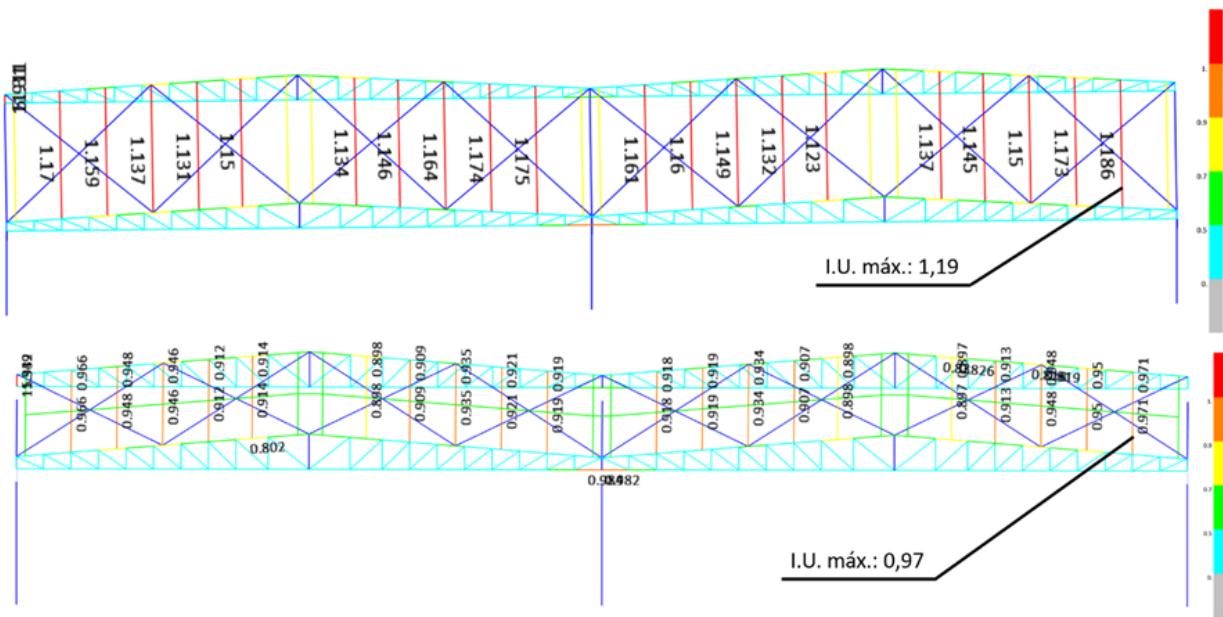


Figura 86: Comparativo dos perfis formados a frio do galpão sem [acima] e com reforços [abaixo].

**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, NBR6120, 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.

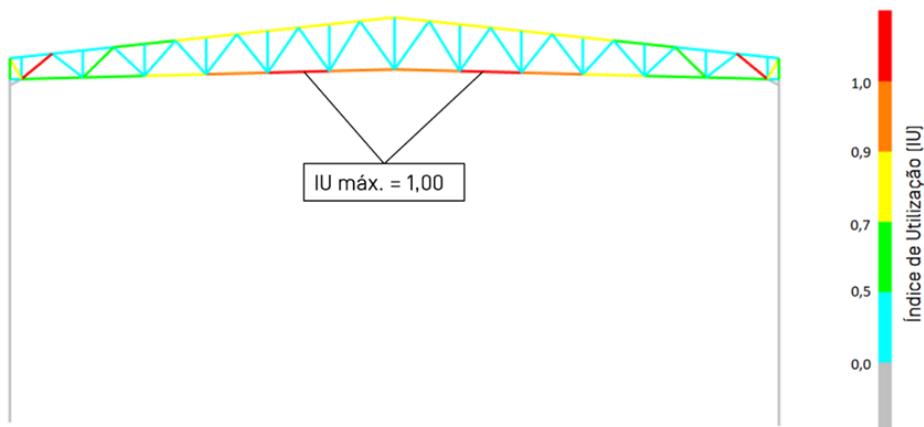


Figura 87: Índice de Utilização – Tesoura modificada.

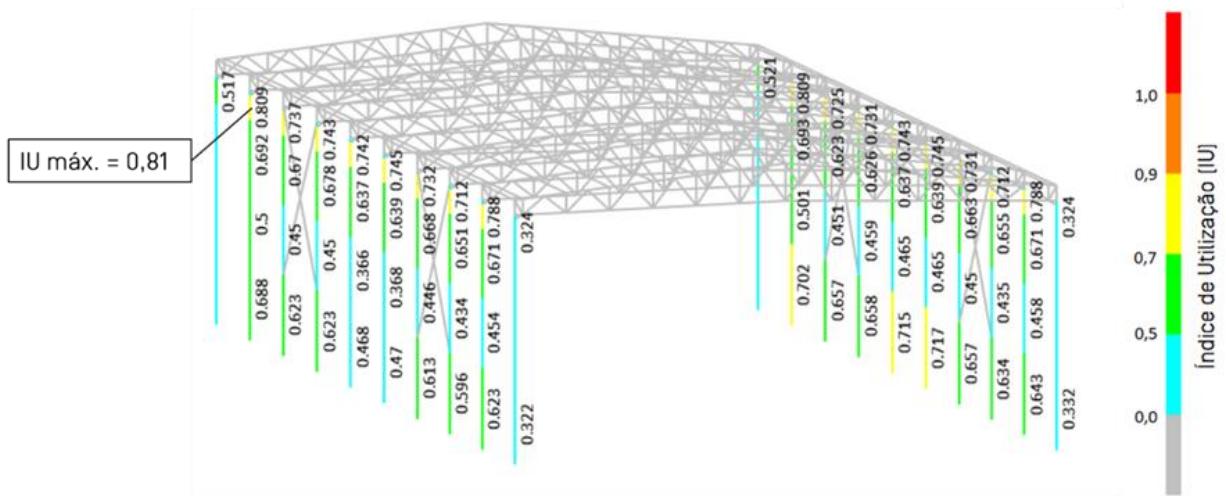


Figura 88: Índice de Utilização – Coluna modificada.

## 2.5.2 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.

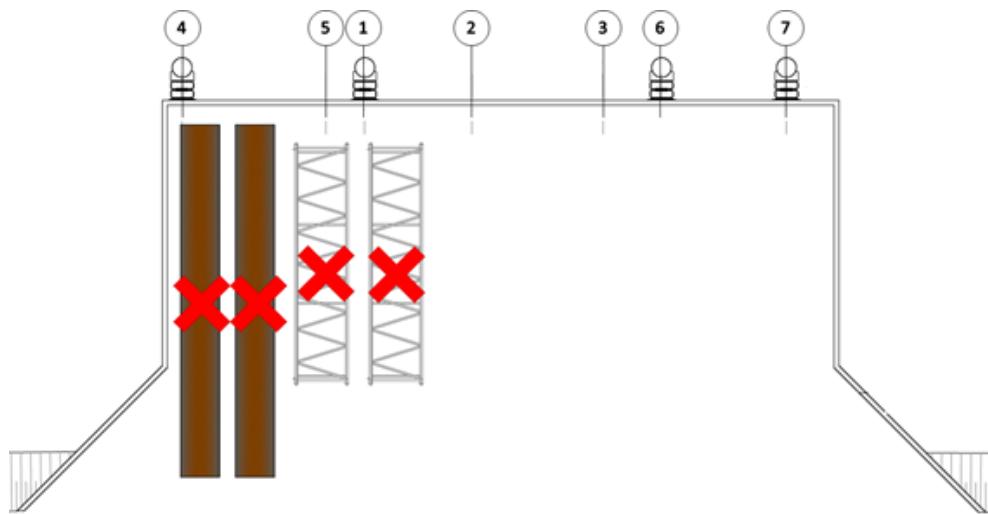


Figura 89: Recomendação de remoção de sobrecarga na região crítica identificada na análise.

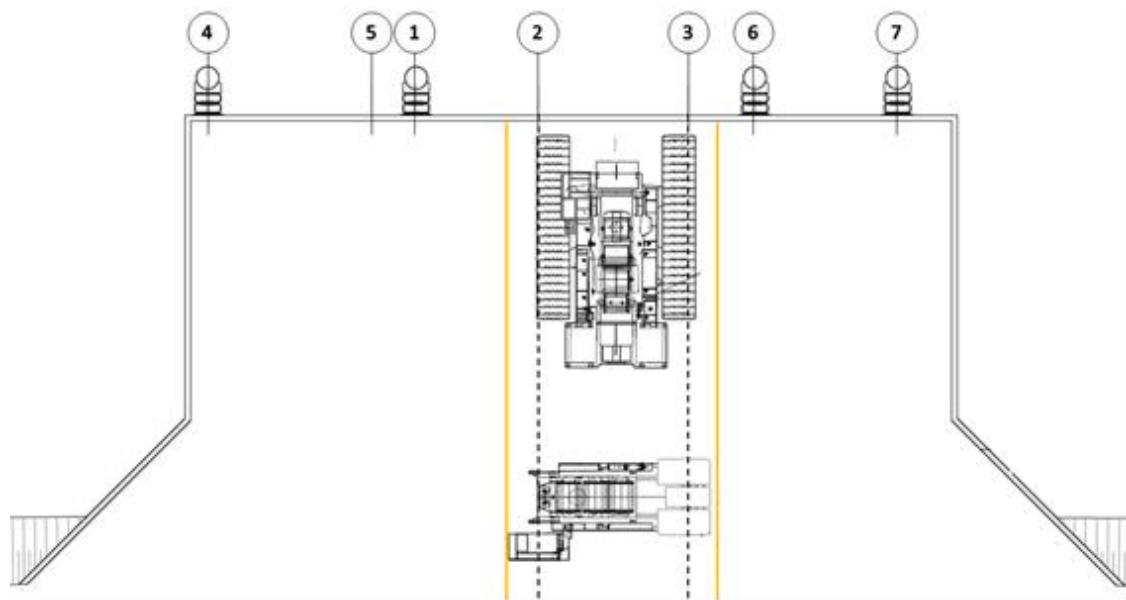


Figura 90: Limite de posicionamento do guindaste para operação do novo procedimento de desembarque.

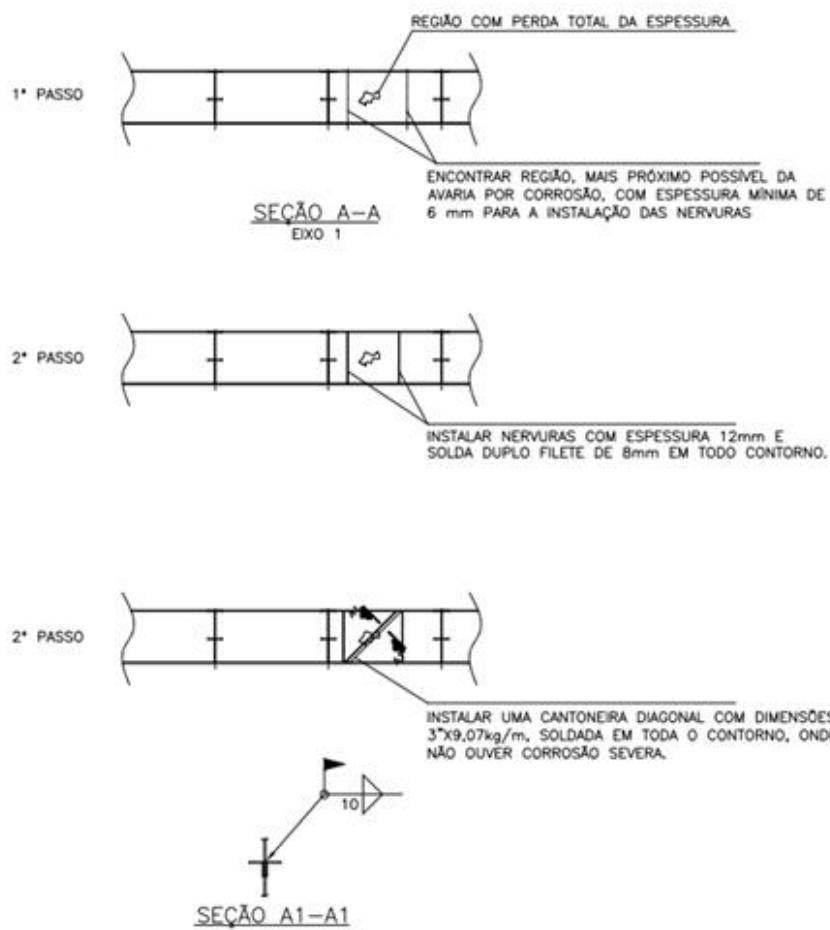


Figura 91: Procedimento de reparo nas almas de perfis danificados.

### 2.5.3 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 CIMAF.

**Resultados alcançados:** Detalhamento do projeto da linha de vida com emissão de memorial de cálculo atestando sua capacidade estrutural.

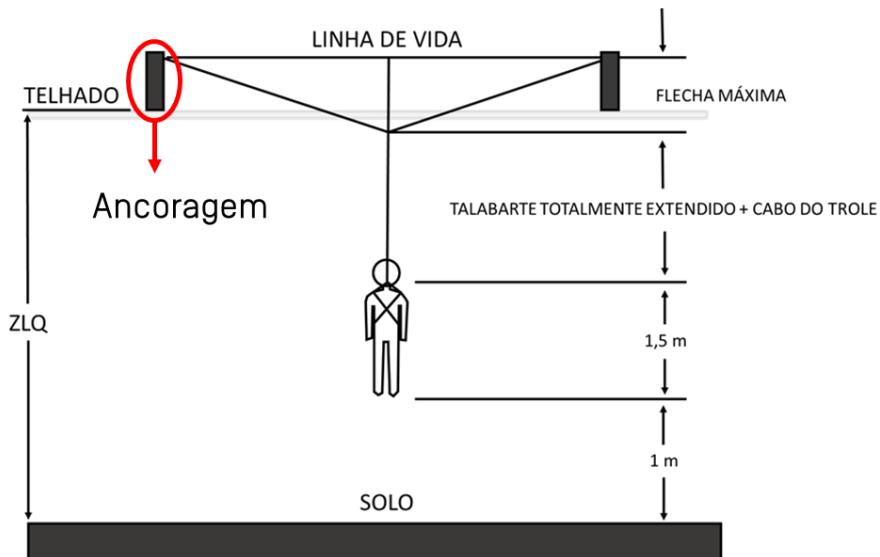


Figura 92: Esquema de funcionamento da linha de vida.

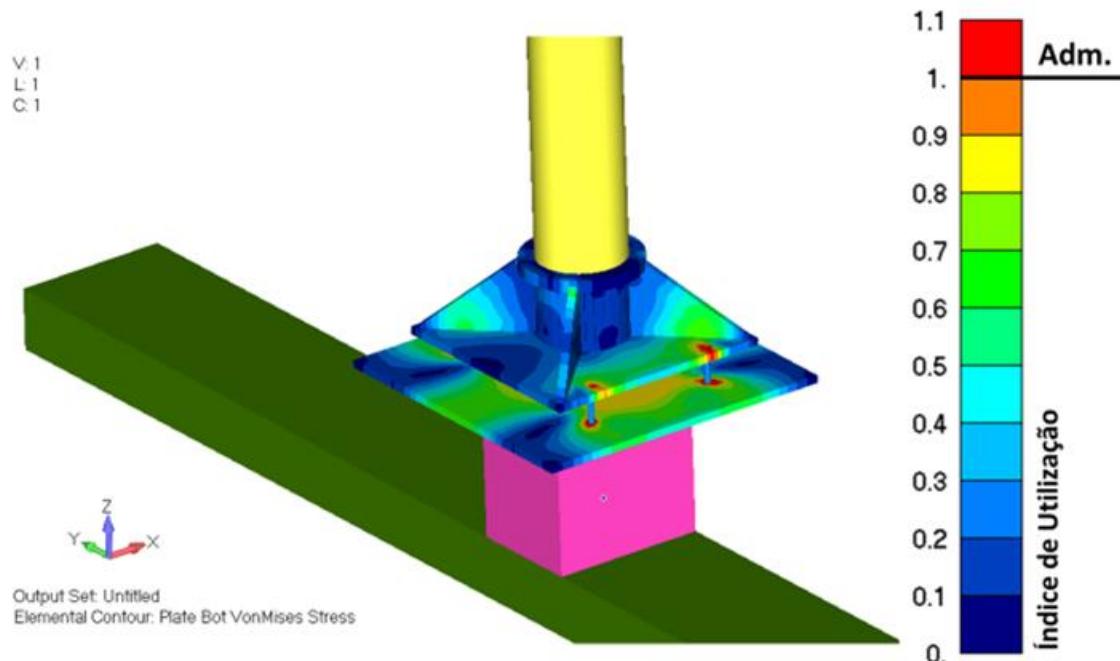


Figura 93: Resultado da análise estática do ponto de ancoragem do sistema de linha de vida.

## 2.6 ANÁLISE EXPERIMENTAL EXTENSOMETRIA E VIBRAÇÃO

### 2.6.1 Acelerometria 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.

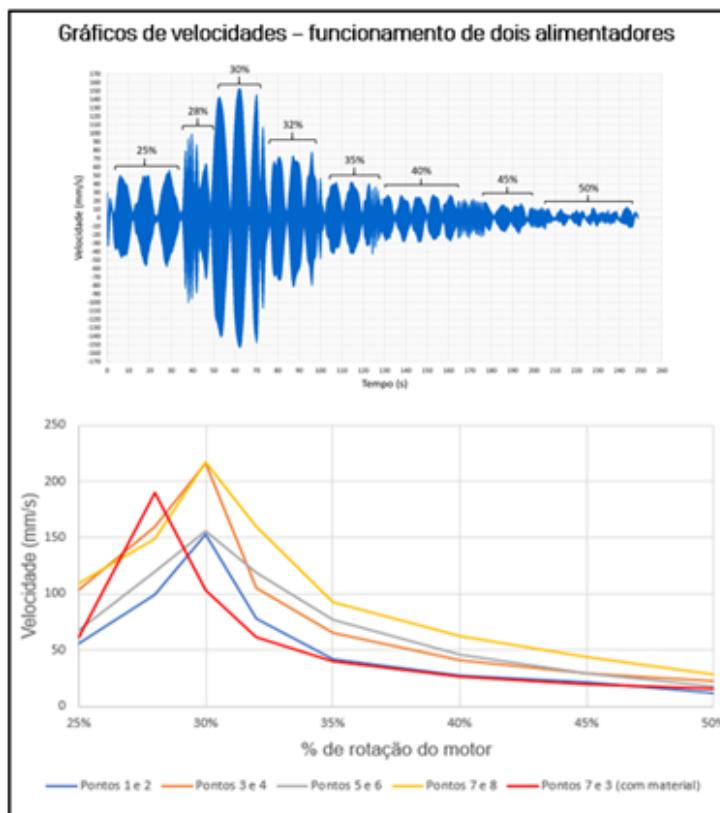


Figura 94: Gráficos de velocidades da estrutura obtidos através da acelerometria.

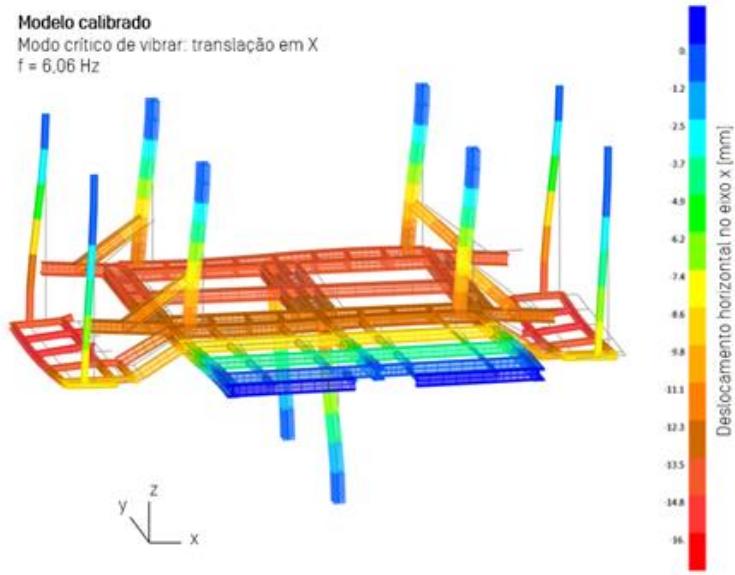


Figura 95: Resultado da análise modal do mezanino original, obtido através da calibração do modelo com os dados coletados.

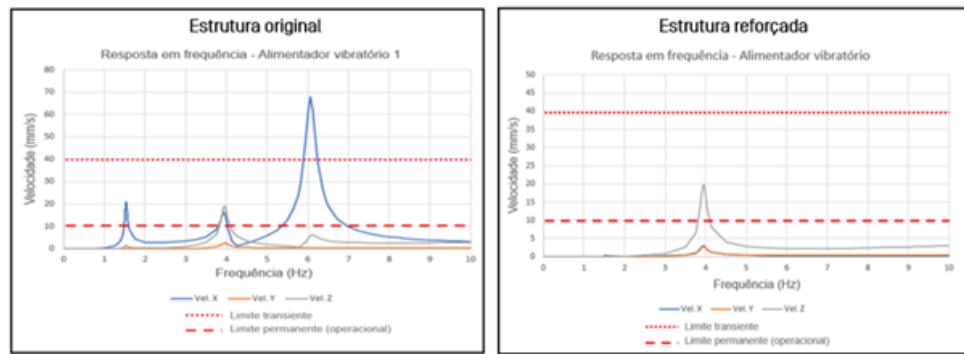


Figura 96: Análise de resposta em frequência para a estrutura do mezanino.

## 2.6.2 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.

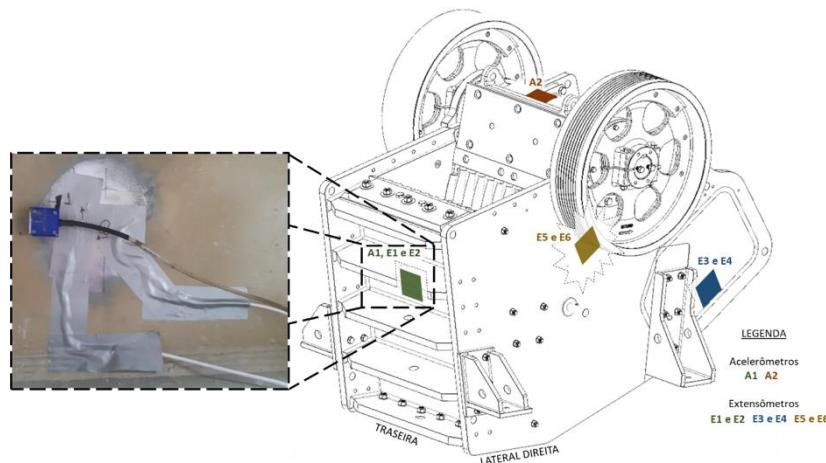


Figura 97: Locais de instalação dos extensômetros e acelerômetros no britador.

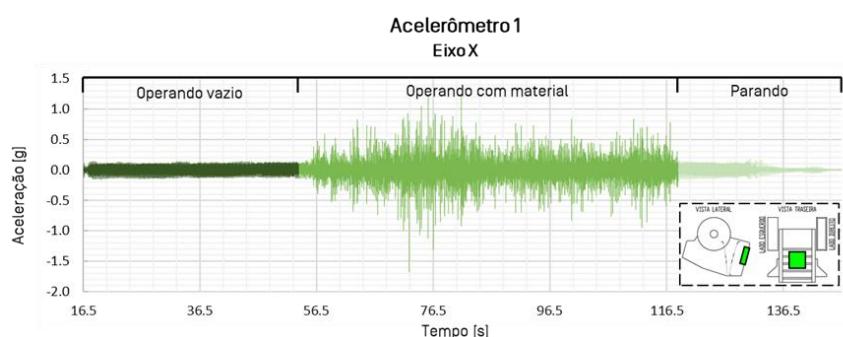


Figura 98: Aceleração do eixo X do acelerômetro 1 das medições do britador.

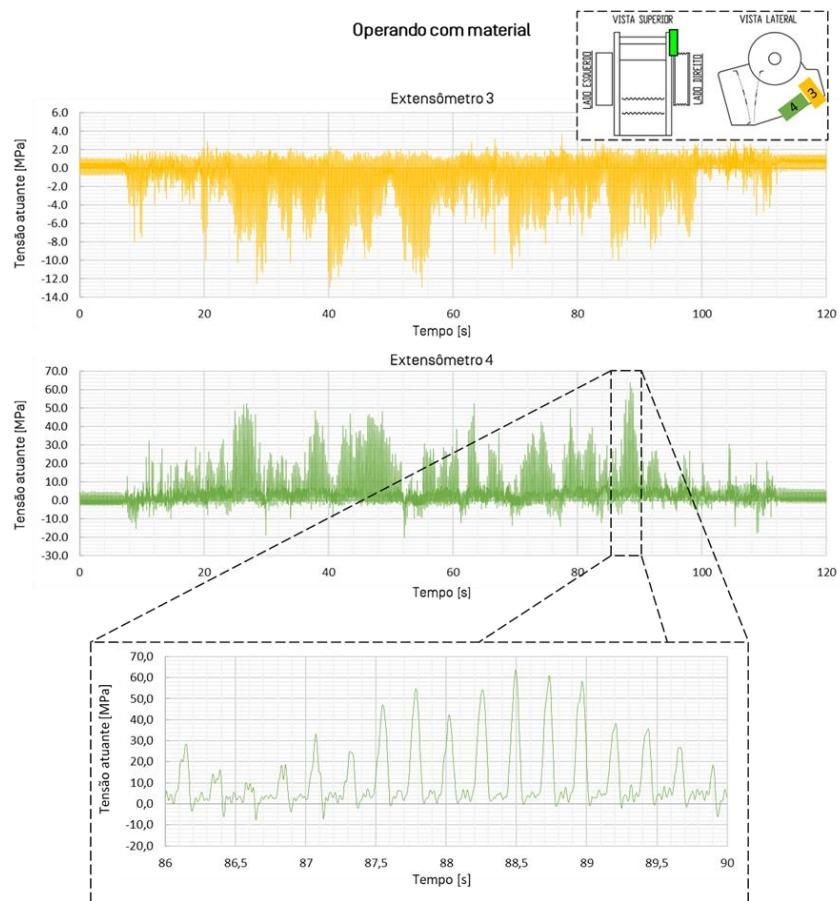


Figura 99: Tensão calculada a partir da medição de deformação dos extensômetros 3 e 4 para operação do britador com capacidade nominal de material.

## 2.7 ANÁLISE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL CFD

### 2.7.1 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.

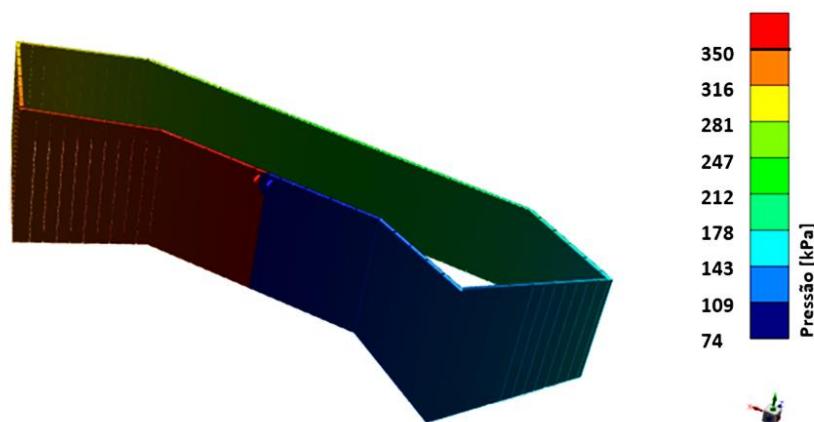


Figura 100: Necessidade de reavaliação do sistema de pressão de água: variação de pressão de 78,7% – módulo 4 da chaminé.

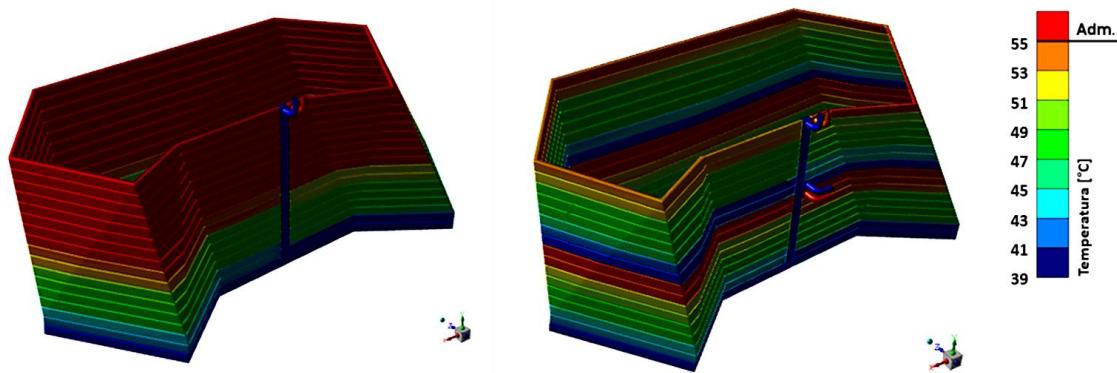


Figura 101: Distribuição de temperatura da água: proposta de melhoria através de 2 fluxos de água independentes – módulo 1 da chaminé.

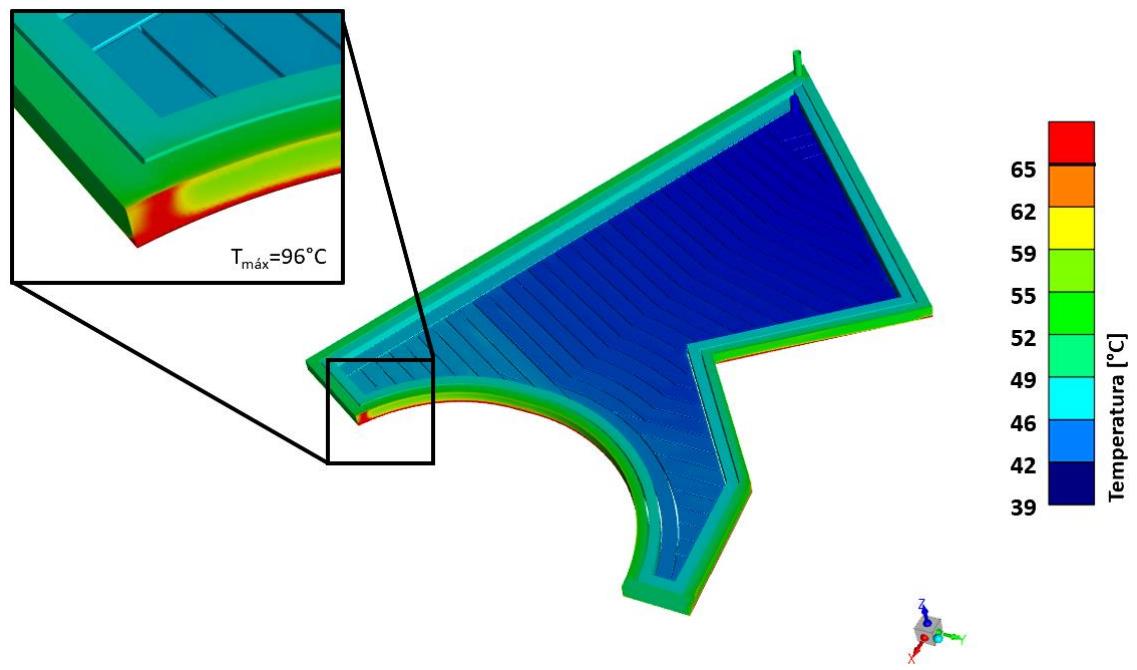


Figura 102: Distribuição de temperatura da água – módulo 2 da coifa

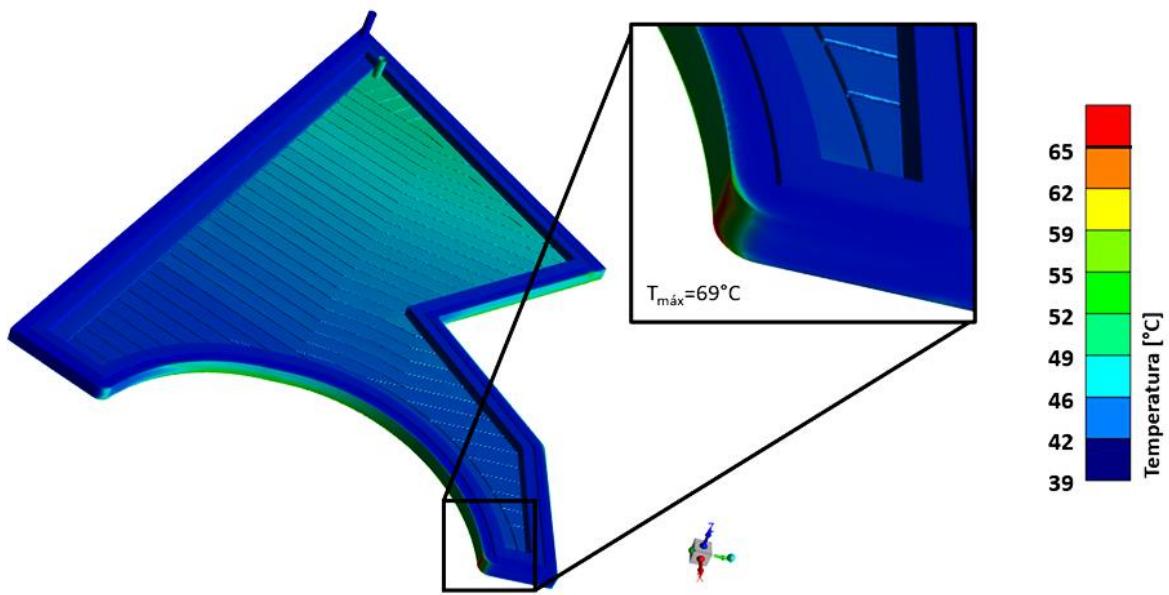


Figura 103: Distribuição de temperatura da água após inversão do fluxo de água e suavização das quinas – módulo 2 da coifa.

## 2.7.2 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  $-55^\circ$  a  $55^\circ$  – 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.

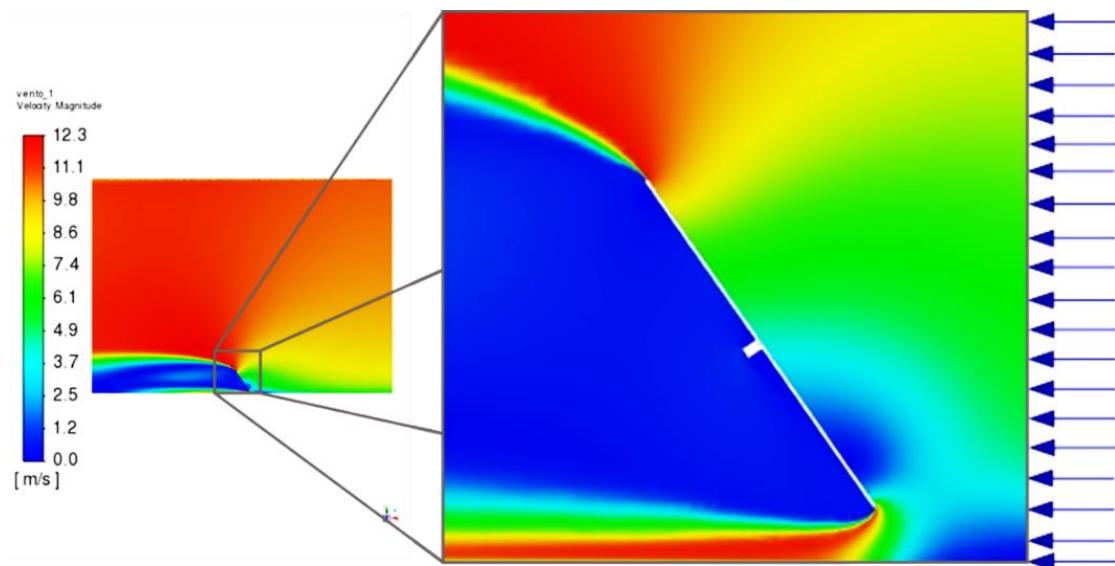


Figura 104: Distribuição de velocidade do vento: inclinação do painel a  $55^\circ$ , velocidade básica de 10m/s, incidência de vento a  $0^\circ$ .

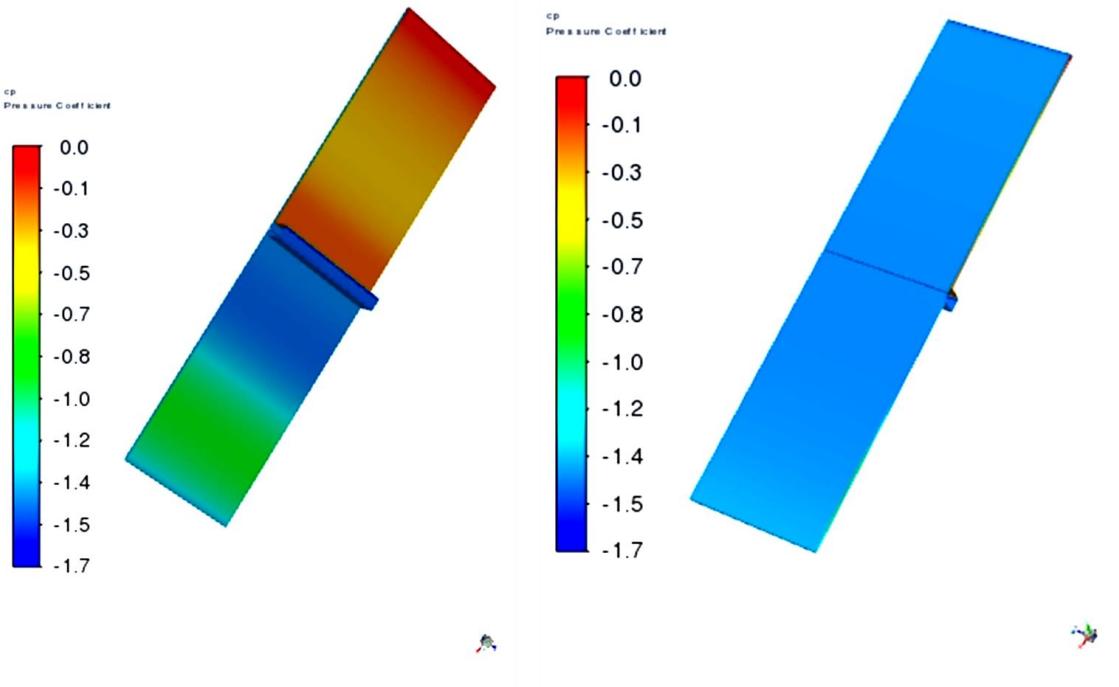


Figura 105: Coeficiente de pressão na superfície do painel a  $15^\circ$ , vento com velocidade básica de 10m/s, incidência de vento a  $180^\circ$ .

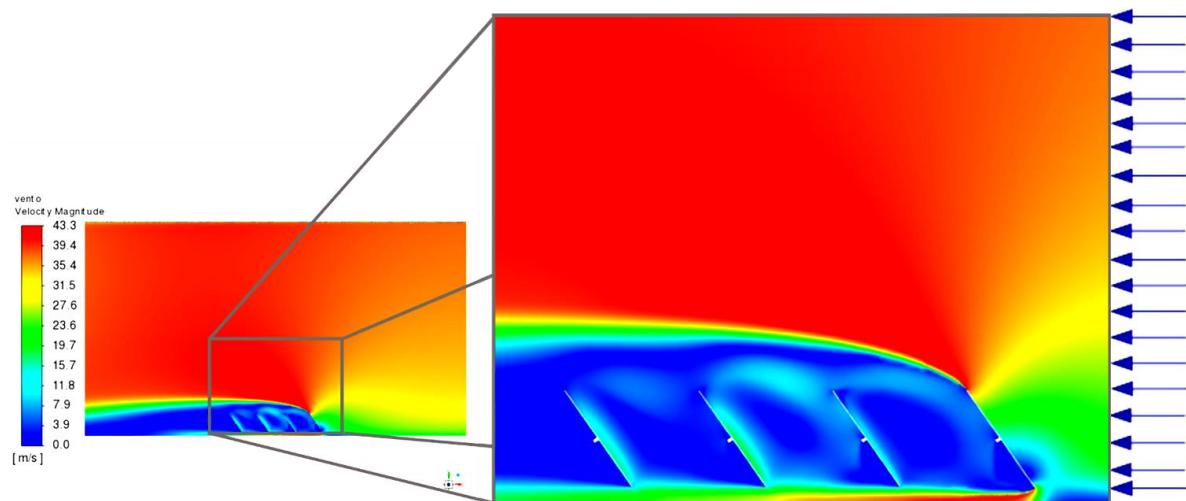


Figura 106: Distribuição de velocidade do vento: inclinação do painel a  $55^\circ$ , velocidade básica de 35m/s, série de 4 painéis, incidência de vento a  $0^\circ$ .

### 2.7.3 Recuperadora de minério

**Motivação da análise:** Reprojeto 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:** 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.

**Resultados alcançados:** Novo projeto de tubulação reduzindo perda de carga em mais de 50%, solucionando o problema e aumentando a eficiência do sistema.

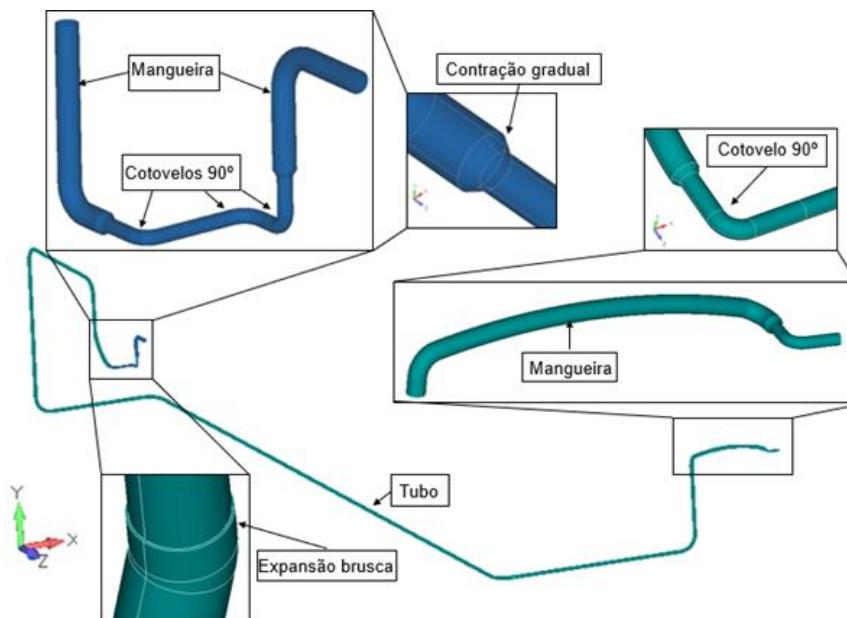


Figura 107: Simulação CFD de regiões críticas [onde cálculo teórico não é bem representativo] do caminho de tubulação do óleo para o sistema original e caminho alternativo [by-pass] proposto em campo.

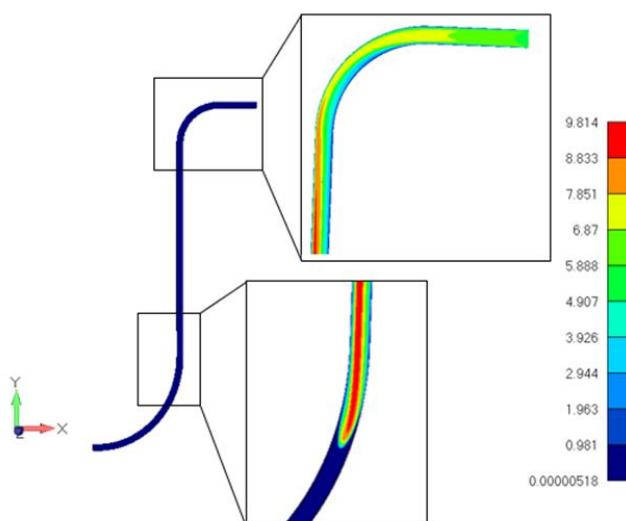


Figura 108: Detalhe do perfil de velocidades nas curvas [m/s].

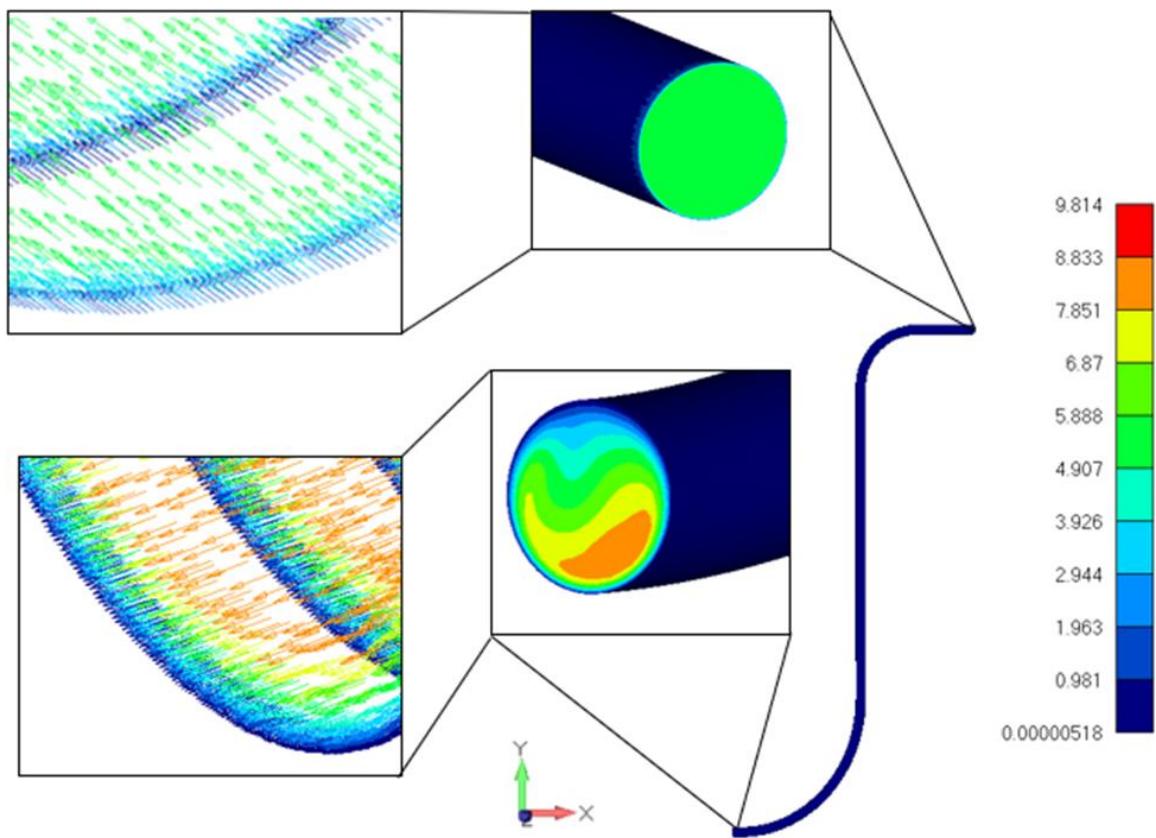


Figura 109: Perfil de velocidade do fluido nas seções de entrada de saída.

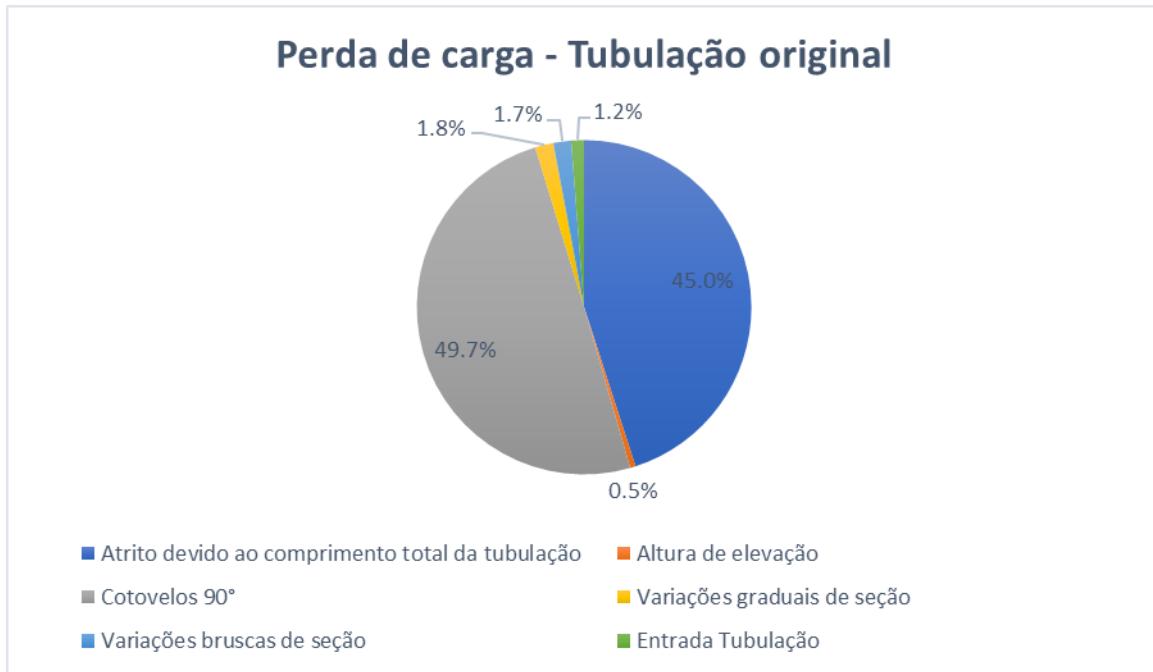


Figura 110: Porcentagem da perda de carga por região na tubulação original.

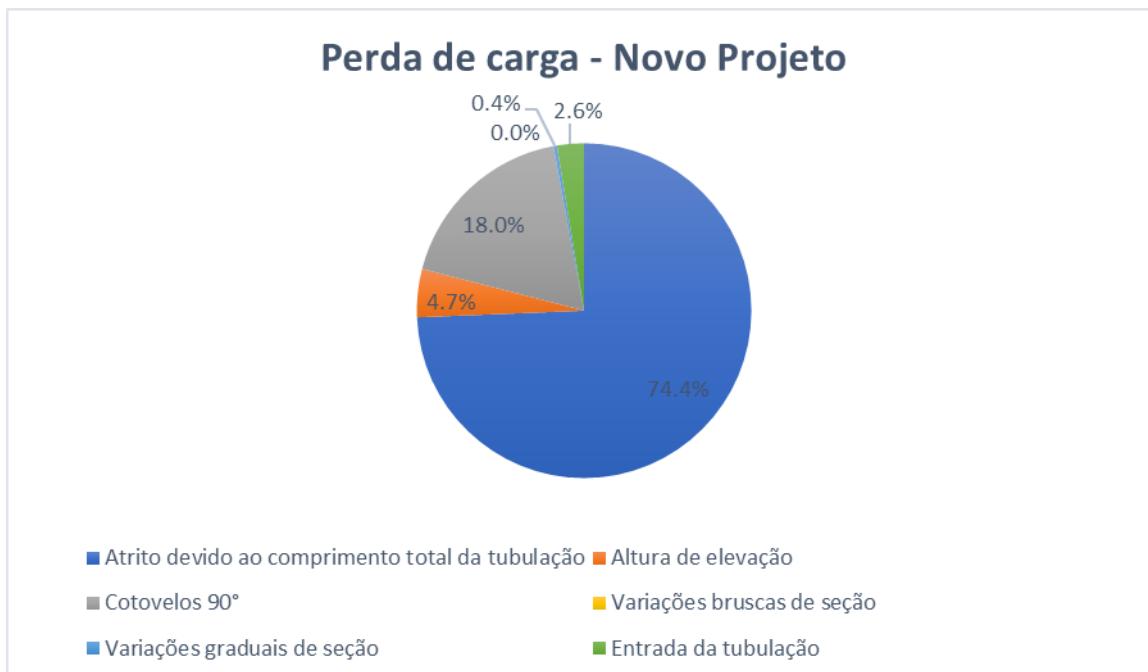


Figura 111: Porcentagem da perda de carga por região no novo projeto.

## 2.8 PLANOS EXECUTIVOS E ACOMPANHAMENTO

### 2.8.1 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].

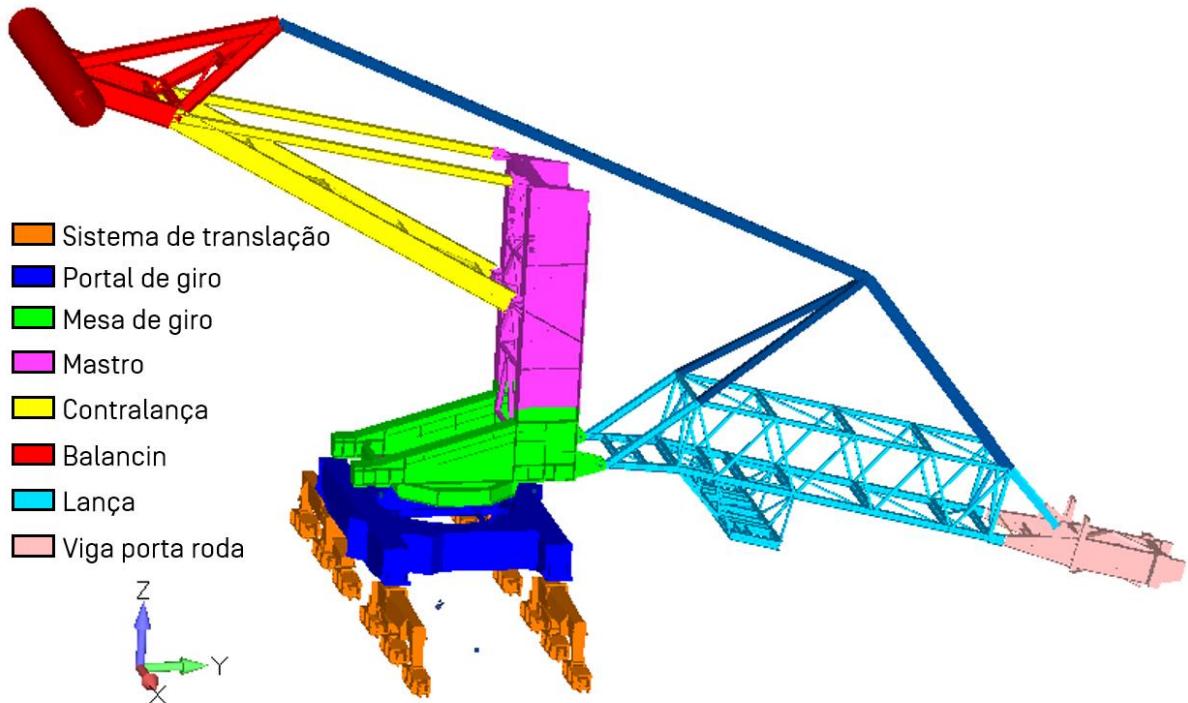


Figura 112: Modelo numérico desenvolvido para estimativa de pesos.

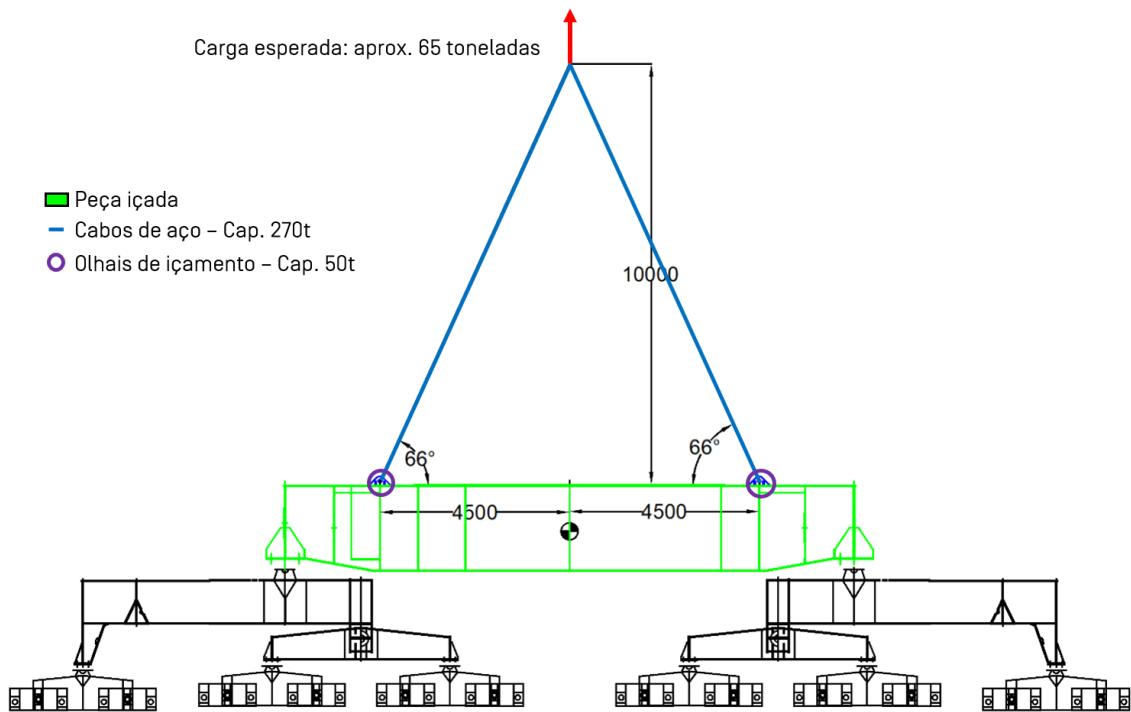


Figura 113: Esquema de içamento do portal de giro da máquina.

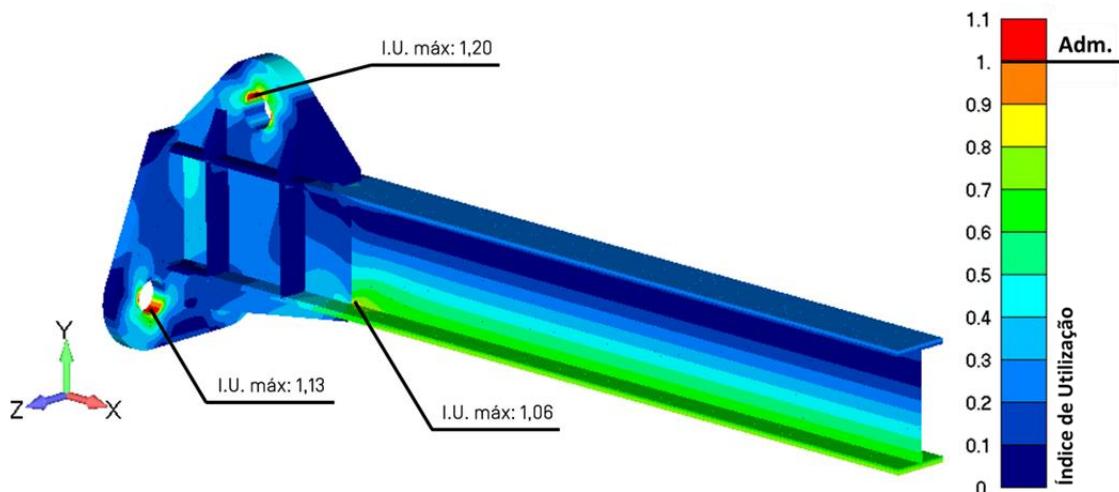


Figura 114: Análise do balancim projeto para auxiliar na desmontagem.

## 2.8.2 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.

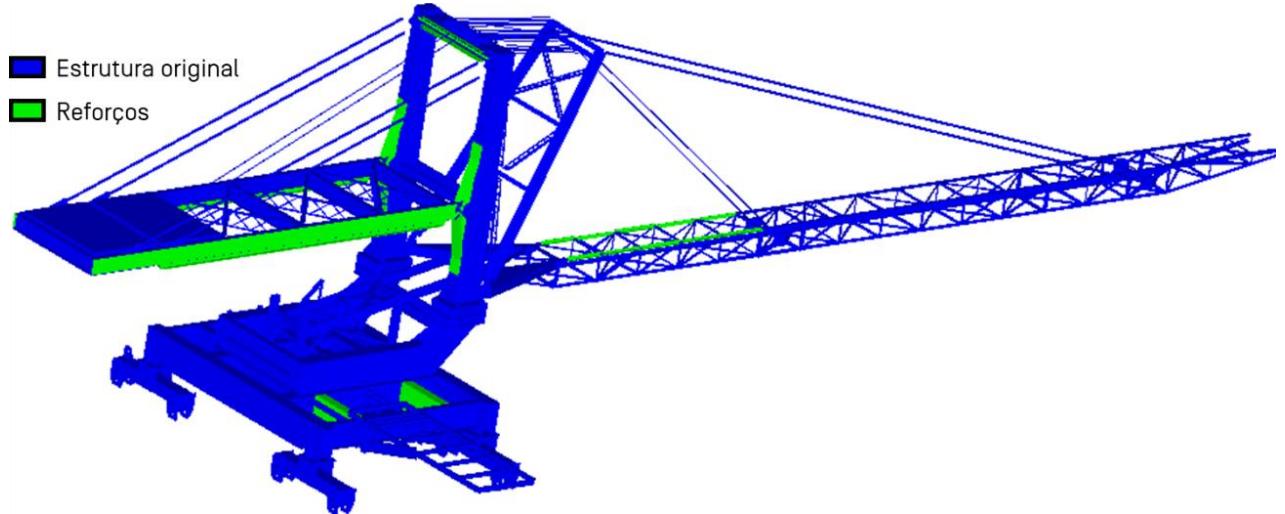


Figura 115: Reforços estruturais propostos para a empilhadeira.

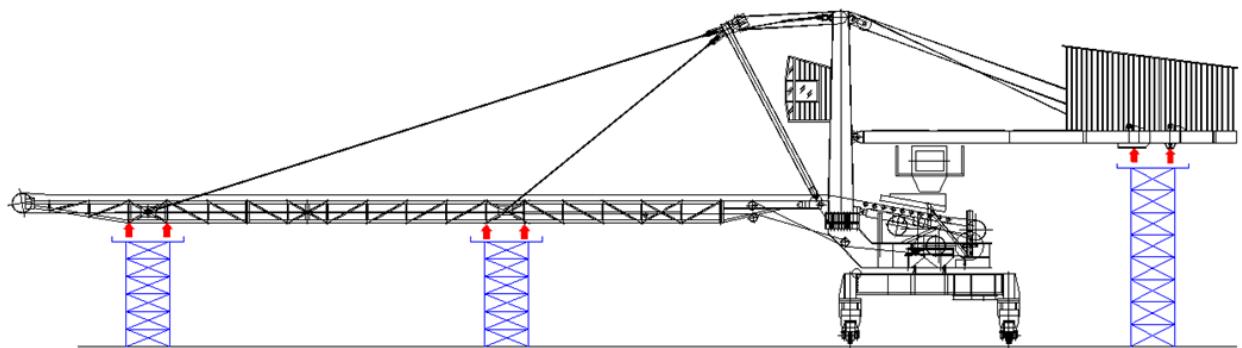


Figura 116: Parte do procedimento de instalação de reforços estruturais – macaqueamento da máquina para alívio de tensões.

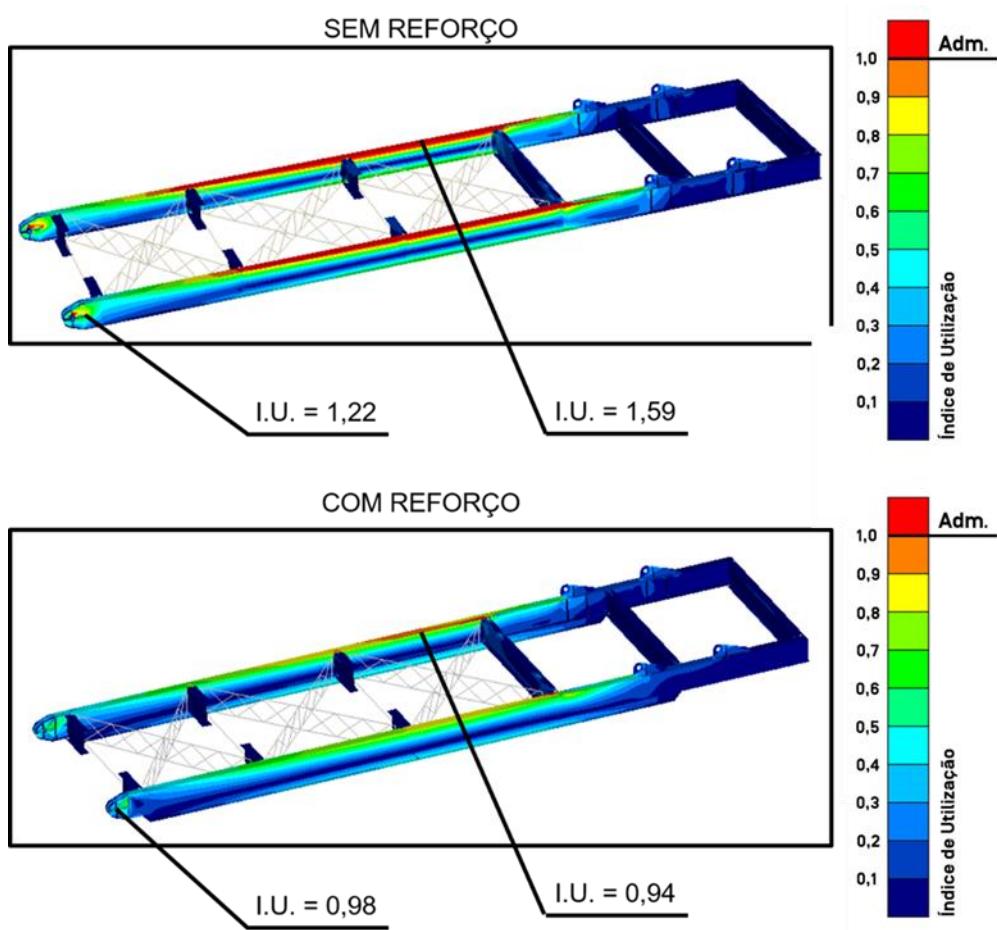


Figura 117: Melhora da condição estática da contralança da empilhadeira com os reforços propostos.

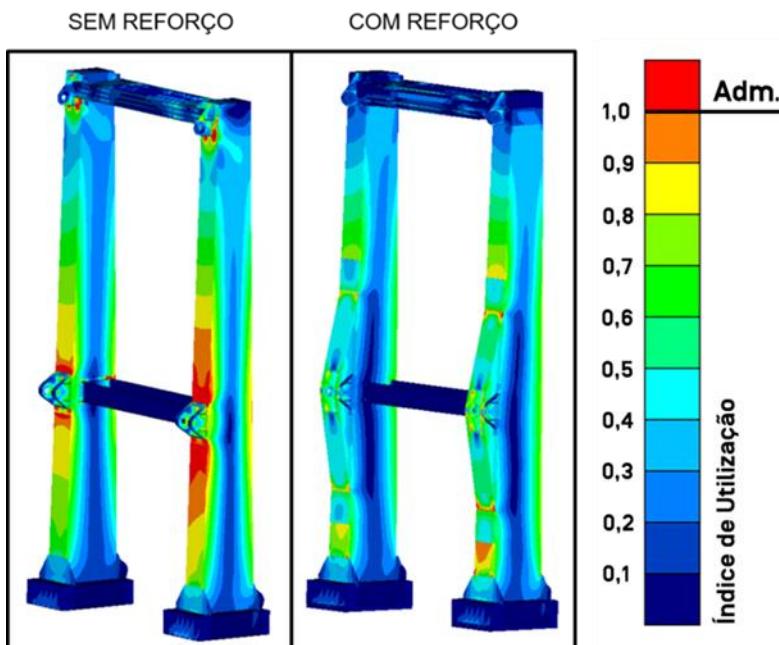


Figura 118: Melhora da condição estática do mastro da empilhadeira com os reforços propostos.

### 2.8.3 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.

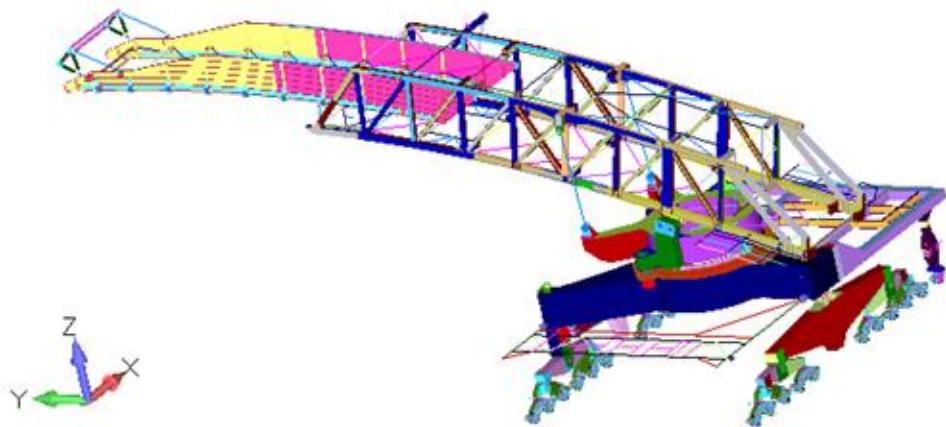


Figura 119: Modelo em elementos finitos do carregador de navios.

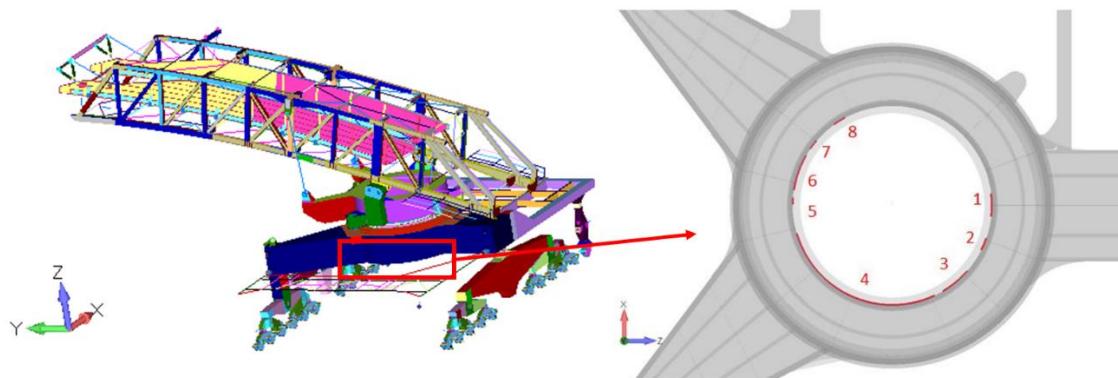


Figura 120: Região de interesse onde foram encontradas descontinuidades com ensaio não destrutivo realizado em campo.

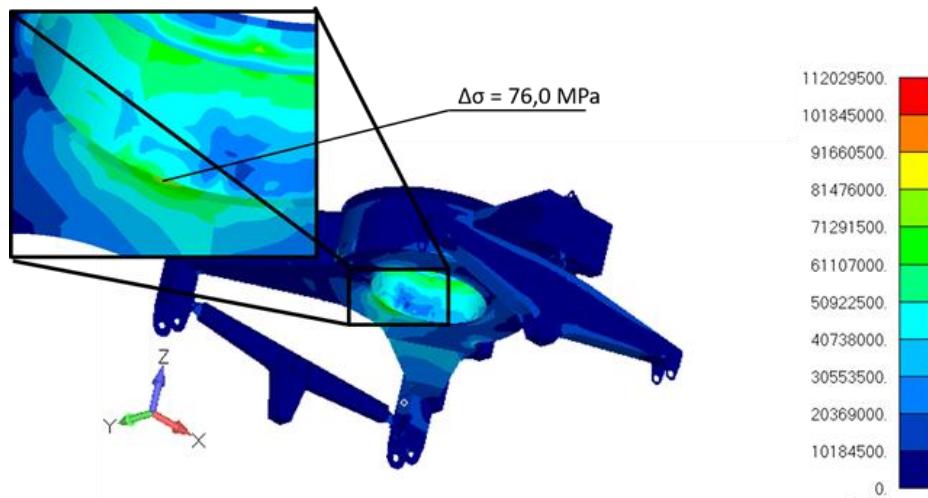


Figura 121: Resultado da análise de fadiga da região de interesse.

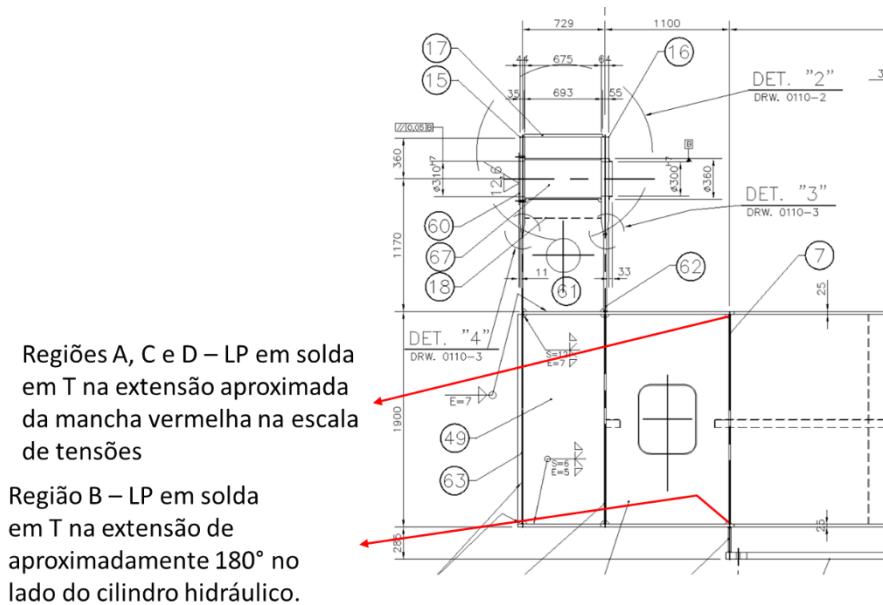


Figura 122: Soldas a serem inspecionadas em região crítica [reprovada na análise de fadiga] constatada na análise completa da máquina.

## 2.8.4 Recuperadora: Viga porta-rodas danificada

**Motivação da análise:** Viga porta-rodas 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-rodas 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.

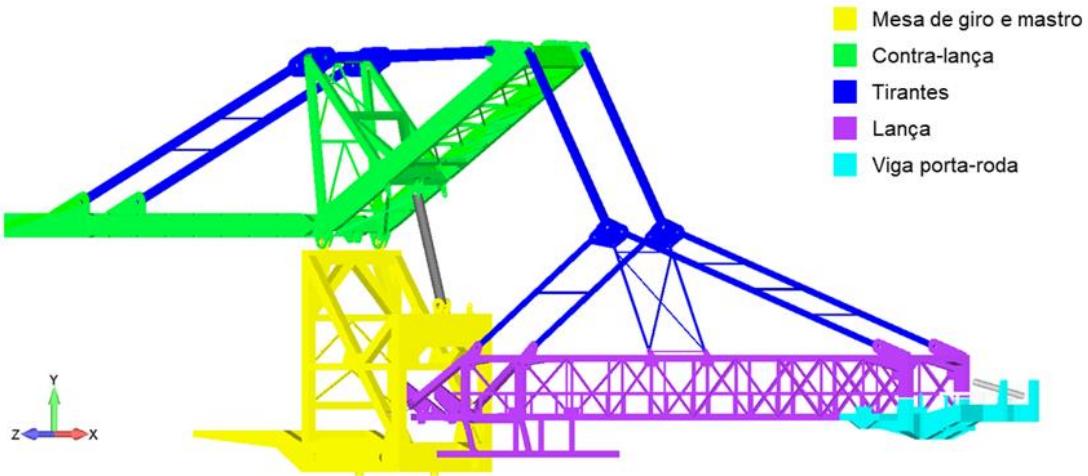


Figura 123: Modelo em elementos finitos para avaliação da parte superior da máquina durante os procedimentos.

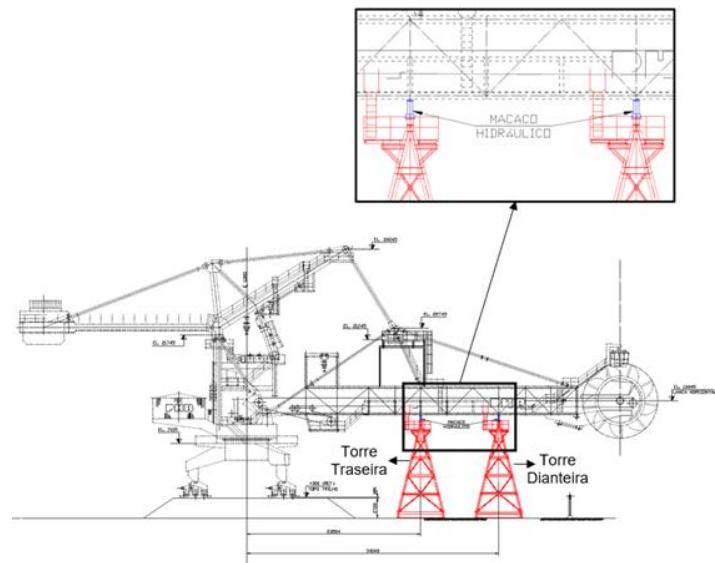


Figura 124: Parte do procedimento de troca da viga porta-rodas – suporte da lança para remoção de contrapeso e equipamentos.

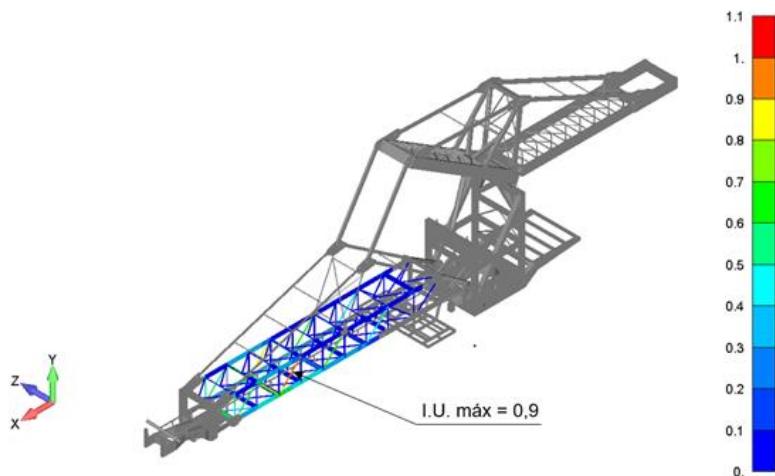


Figura 125: Resultados de índice de utilização dos perfis da lança durante procedimento.

## 2.8.5 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.

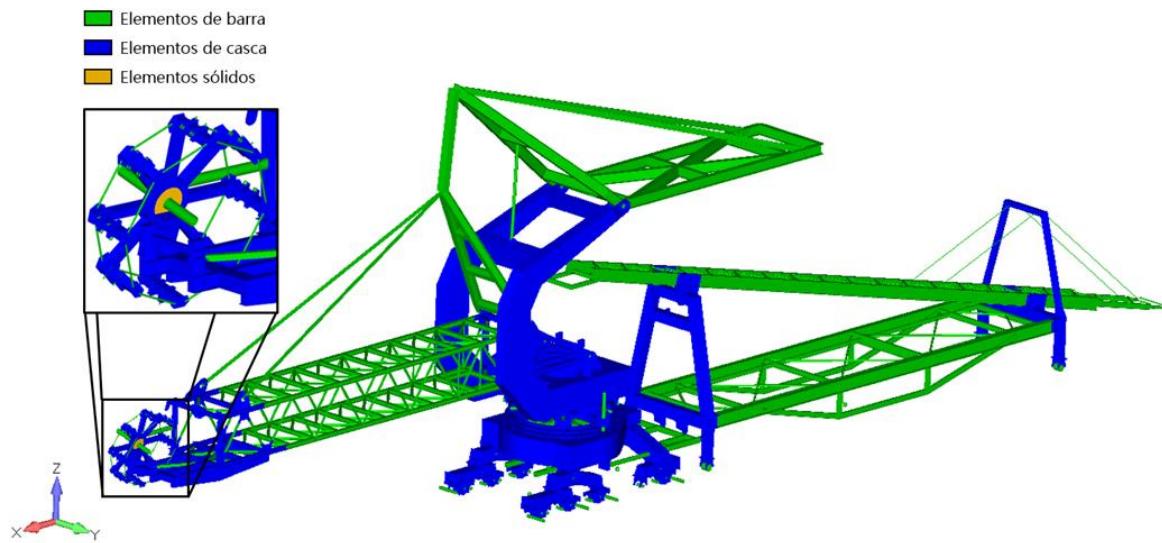


Figura 126: Modelo em elementos finitos desenvolvido para as análises.

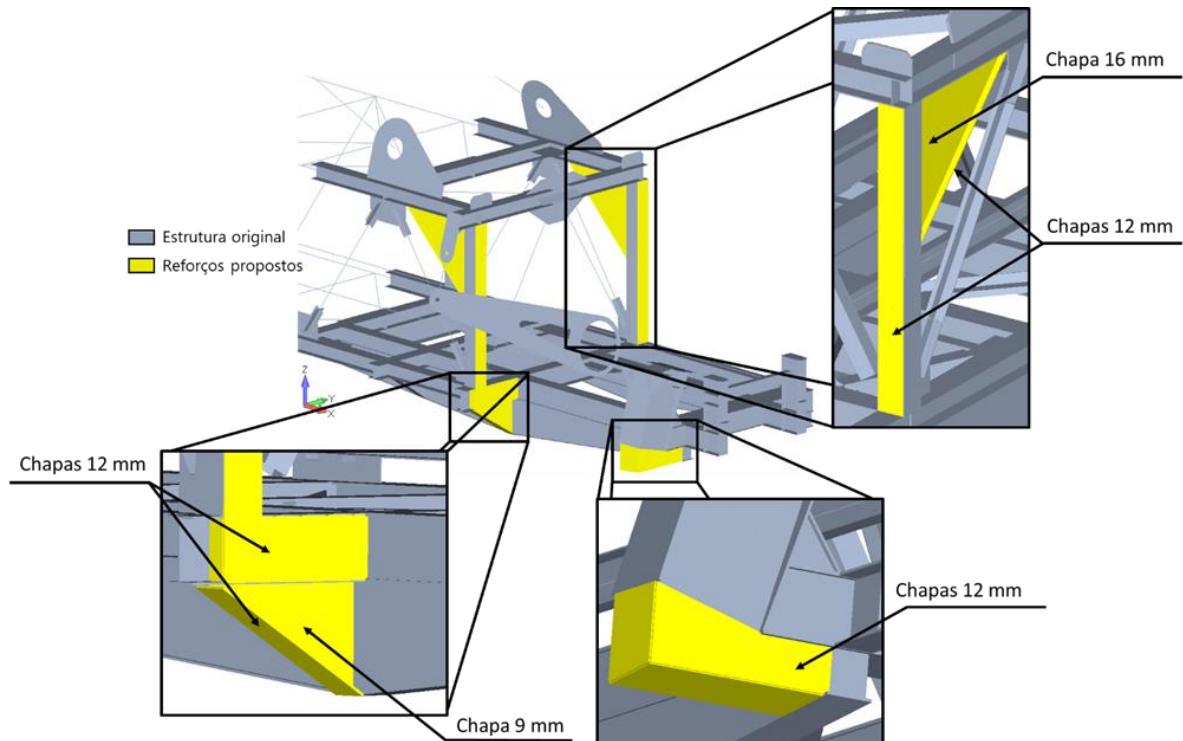


Figura 127: Reforços propostos para a estrutura da lança.

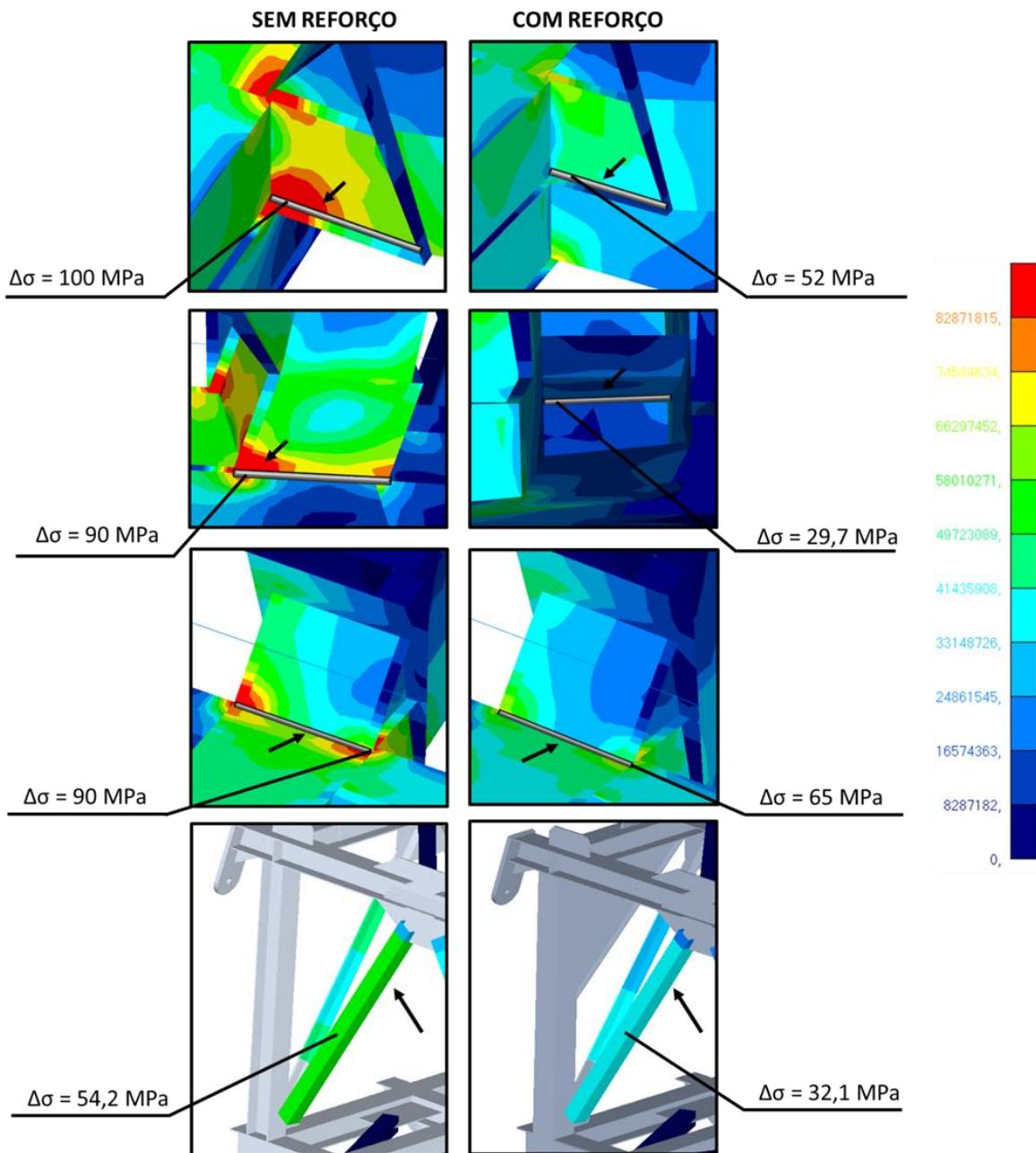


Figura 128: Comparativo da variação de tensões principais original e com a instalação dos reforços propostos na análise de fadiga.