



ABILIO MOÇO VIEIRA NETO  
JOÃO PEDRO BOLDRIN DO PRADO  
VITÓRIA CORRÊA GUERRA

**ANÁLISE CRÍTICA DE DIMENSIONAMENTO E  
EXECUÇÃO DE PISO INDUSTRIAL EM CONCRETO  
COM FIBRAS**

São Paulo

2020

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Curso de  
Engenharia Civil**

**Trabalho de Conclusão de Curso**



**ANÁLISE CRÍTICA DE DIMENSIONAMENTO E  
EXECUÇÃO DE PISO INDUSTRIAL EM CONCRETO  
COM FIBRAS**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. José Tadeu Balbo

São Paulo

2020

## **AGRADECIMENTOS**

Nossos agradecimentos vão a um grande grupo de pessoas que não se pode enumerar aqui, mas que estiveram presentes nos apoiando e orientando nessa trajetória de elaboração do nosso trabalho de conclusão de curso.

Parte dele é o corpo de professores doutores que nos auxiliaram na trajetória acadêmica e profissional que nos trouxe até aqui.

Agradecemos à LPE Engenharia, por seu tempo, atenção e disponibilidade em todo o processo de elaboração deste trabalho. Principalmente ao engenheiro Breno Macedo Faria, aos profissionais Igor, Pedro e Victória que foram tão prestativos nas visitas técnicas.

À Construtora Ribeiro Caram por ter permitido nossa visita ao canteiro de obra e ao estagiário Luís que nos acompanhou e orientou.

Ao professor José Tadeu Balbo somos profundamente gratos pela orientação, auxílio ao trabalho e paciência na arte de ensinar.

E às nossas famílias e colegas que nos dão todo o suporte necessário para concluir mais essa etapa de nossa graduação.

## **RESUMO**

Após estudos na literatura, conversas com especialistas, simulações em softwares e visitas à campo, chega-se ao seguinte trabalho de conclusão de curso. A temática do uso de concreto com fibras em pavimentos é uma realidade na área da engenharia civil e merecedora de uma análise de desempenho cuidadosa. A partir de um estudo de caso real, realizou-se uma análise do método de projeto executado, da obra realizada, sua relação ao produto final e discutiu-se, de forma crítica, o desempenho dos pisos de concreto com fibras. De posse dessas informações, observou-se que, como toda técnica, esta possui pontos positivos e negativos. Como vantagens, observa-se boa aplicabilidade em obras grandes e de alto valor devido à necessidade de um diferenciado controle tecnológico e a possibilidade da utilização em placas grandes (no caso estudado, 25x25 m). Ao mesmo tempo, esta possui patologias e comportamento mais particulares, o que singulariza o controle e requer maior atenção desde o projeto até sua execução.

## **ABSTRACT**

After studies in the literature, conversations with specialists, software simulations and field visits, the following work is concluded. The theme of using concrete with fibers in pavements is a reality in the area of civil engineering and deserves a careful performance analysis. Based on a real case study, an analysis was carried out of the executed project method, of the work carried out, its relation to the final product and the performance of fiber concrete floors was critically discussed. With this information, it was observed that, like all techniques, this one has positive and negative points. As advantages, there is a good applicability in large and high value works due to the need for a differentiated technological control and the possibility of using large boards (in the case studied, 25x25 m). At the same time, it has more particular pathologies and behavior, which makes control unique and requires greater attention from the project to its execution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Galpão Industrial em Cajamar com detalhe para a proximidade das importantes vias de acesso .....	14
Figura 2 - Condomínio Industrial Cajamar II .....	15
Figura 3- - Vista geral: Piso Finalizado (Galpão A).....	16
Figura 4 - Limitação entre o piso finalizado e em execução .....	17
Figura 5 - Galpão B em execução .....	18
Figura 6 - Esquema de distribuição de cargas .....	20
Figura 7 - Distribuição Triangular .....	20
Figura 8-Planta baixa representativa do piso em estudo .....	23
Figura 9 - Detalhe da planta baixa .....	24
Figura 10 - Legenda da planta baixa .....	25
Figura 11 - Detalhe da planta baixa: Características do concreto .....	25
Figura 12 - Detalhe planta baixa: Notas gerais.....	26
Figura 13 - Detalhe planta baixa: Notas do subleito .....	26
Figura 14 - Detalhe de projeto: Perfil genérico do piso .....	27
Figura 15 - Junta de construção .....	28
Figura 16 - Detalhe e projeto: Perfil da junta de construção .....	28
Figura 17 - Junta serrada .....	29
Figura 18 - Detalhe e projeto: Perfil da junta serrada.....	29
Figura 19 - - Detalhe e projeto: Perfil da junta de encontro .....	30
Figura 20 - Detalhe e projeto: Perfil da junta de encontro .....	30
Figura 21 - Reforço metálico .....	31
Figura 22 - Detalhe e projeto: Tratamento da junta de construção com tráfego leve.....	31
Figura 23 - Detalhe e projeto: Tratamento da junta serrada com tráfego leve .....	32
Figura 24 - Detalhe e projeto: Tratamento da junta de construção com tráfego intenso	32
Figura 25 – Detalhe e projeto: Tratamento da junta serrada com tráfego intenso.....	32
Figura 26 - Barra de transferência .....	33
Figura 27 - Detalhe em projeto: barra de transferência .....	33
Figura 28- Detalhe em projeto: Vista em planta do encontro da junta de construção e da junta serrada.....	34
Figura 29 - Detalhe em projeto: Vista em planta das barras de transferência próximas ao pilar .....	34
Figura 30 - Detalhe em projeto: Vista em planta das barras de transferência quando há reforço metálico .....	35
Figura 31 - Detalhe em projeto: vista em planta das docas .....	36
Figura 32 - Detalhe em projeto: Vista em perfil das docas .....	37
Figura 33 - Retroescavadeira .....	38
Figura 34 - Caminhão Pipa .....	38
Figura 35 - Motoniveladora ou Patrol .....	39
Figura 36 - Rolo compactador pé-de-carneiro .....	39
Figura 37 - Rolo compactador liso .....	40
Figura 38 - Rolo compactador pneumático .....	41
Figura 39 - Lona preta plástica impermeável .....	41
Figura 40 - Despejo de concreto .....	42
Figura 41 - Screed-laser.....	42

Figura 42- Distribuidora de agregados .....	43
Figura 43 - Rodo de corte .....	43
Figura 44 - Alisadora dupla de concreto .....	44
Figura 45 - Piso acabado .....	44
Figura 46 - Aplicação do Método Viga Benkelman.. Fonte: Do autor .....	45
Figura 47 - Obtenção da porção inicial da massa de concreto com fibras. ....	46
Figura 48 - Mistura da massa com água .....	47
Figura 49 - Separação das fibras metálicas através de aproximação por imã .....	48
Figura 50 - Fibras separadas e pesadas.....	49
Figura 51 - Equipamento medidor de pressão .....	50
Figura 52 - Medidor de ar incorporado .....	51
Figura 53 - Patologia Superficial: Manchas Estriadas.....	52
Figura 54 - Patologia Superficial: Manchas Estriadas.....	53
Figura 55 - Placas com diferentes tempos de concretagem.....	53
Figura 56 - Esborcinamento e degrau de juntas .....	54
Figura 57 - Fibras expostas na rampa de acesso.....	55
Figura 58 - Fibra exposta no piso interno.....	55
Figura 59 - Fissura no encontro entre placas e pilar .....	56
Figura 60 - Fissura de canto na porta de saída .....	56
Figura 61 - Oxidação do reforço metálico.....	57
Figura 62 - "Ouriço" presente na massa de concreto.....	59
Figura 63 - Printscreen da geometria utilizada no software Everfe.....	61
Figura 64 - Printscreen dos parâmetros relativos aos materiais no software Everfe .....	62
Figura 65 - Carga representativa da empilhadeira no Everfe .....	63
Figura 66 -Detalhes de medidas da empilhadeira. Fonte: Hyster (2017) .....	63
Figura 67 - Posicionamento da carga na placa .....	64
Figura 68 - Malha utilizada .....	64
Figura 69 - Curva de isotensão no topo da placa.....	65
Figura 70 -Tensões máximas e mínimas na placa .....	65
Figura 71 - Posicionamento da carga na placa .....	66
Figura 72 - Malha utilizada .....	66
Figura 73 - Curva de isotensão no fundo da placa .....	67
Figura 74 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	67
Figura 75 - -Posicionamento da carga na placa .....	68
Figura 76 - Malha utilizada .....	68
Figura 77 - Curva de isotensão no topo da placa.....	69
Figura 78 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	69
Figura 79 - Posicionamento da carga na placa .....	70
Figura 80 - Malha utilizada .....	70
Figura 81 - Curva de isotensão no topo da placa.....	71
Figura 82 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	71
Figura 83 - Carga representativa do porta pallet no Everfe.....	71
Figura 84 - Detalhe do porta pallet. Fonte: Loja Easy Toque .....	72
Figura 85 - Posicionamento da carga na placa .....	73
Figura 86 - Malha utilizada .....	73
Figura 87 - Curva de isotensão no topo da placa.....	74
Figura 88 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	74

Figura 89 - Posicionamento da carga na placa .....	75
Figura 90 - Malha utilizada .....	75
Figura 91 - Curva de isotensão no fundo da placa .....	76
Figura 92 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	76
Figura 93 - Posicionamento da carga na placa .....	77
Figura 94 - Malha utilizada .....	77
Figura 95 - Curva de isotensão no topo da placa.....	78
Figura 96 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	78
Figura 97 - Posicionamento da carga na placa .....	79
Figura 98 - Malha utilizada .....	79
Figura 99 - Curva de isotensão no topo da placa.....	80
Figura 100 - Tensões máximas e mínimas na placa .....	80
Figura 101 - Malha utilizada .....	81
<i>Figura 102 - Curva de isotensão no topo da placa .....</i>	<i>81</i>
Figura 103 - Tensões máximas e mínimas .....	81
Figura 104 - Malha utilizada .....	82
Figura 105 - <i>Curva de isotensão no topo da placa.....</i>	<i>82</i>
Figura 106 - Tensões máximas e mínimas .....	83
Figura 107 - Malha utilizada .....	83
Figura 108 - <i>Curva de isotensão no topo da placa.....</i>	<i>84</i>
Figura 109 - Tensões máximas e mínimas .....	84
Figura 110 - Malha utilizada .....	85
Figura 111 - <i>Curva de isotensão no topo da placa.....</i>	<i>85</i>
Figura 112 - Tensões máximas e mínimas .....	86
Figura 113 - Malha utilizada .....	86
Figura 114 - <i>Curva de isotensão no topo da placa.....</i>	<i>86</i>
Figura 115 - Tensões máximas e mínimas .....	87
Figura 116 - Malha utilizada .....	87
Figura 117 - <i>Curva de isotensão no topo da placa.....</i>	<i>88</i>
Figura 118 - Tensões máximas e mínimas .....	88
Figura 119 - Alteração da espessura no modelo.....	89
Figura 120 - Curva de isotensão no topo da placa.....	90
Figura 121- Tensões máximas e mínimas .....	90

# SUMÁRIO

RESUMO	4
Abstract	4
1. Introdução	10
2. Objetivos	12
3. Justificativa e método	12
4. Contextualização do estudo de caso	13
4.1. Contextualização da região	13
4.2. Contextualização do empreendimento	14
4.3. Contextualização da obra	15
5. Análise do Projeto Executado	19
5.1. Teoria das Charneiras Plásticas	19
5.1.1. Método de Meyerhof (Rodrigues, Faria e Silva;2015)	20
5.1.2. Considerações sobre o Método de Meyerhof	22
5.2. Parâmetros e Detalhamento do Projeto	22
5.2.1. Juntas	27
5.2.2. Barras de Transferência	33
5.2.3. Docas	35
5.3. Drenagem	37
5.4. Considerações sobre o capítulo	37
6. Análise das Condições da obra	38
6.1. Métodos Construtivos e Equipamentos Empregados	38
6.2. Controle Tecnológico	45
6.3. Patologias observadas	51
6.4. Considerações sobre o capítulo	57
7. Análise Crítica do projeto	58
7.1. Fundamentos do programa Everfe	59
7.2. Simulações com parâmetros de projeto para cargas isoladas	60
7.3. Discussão parcial dos resultados	80
7.4. Simulações de cargas conjuntas	80
7.4.1. Discussão das solicitações conjuntas	88
7.5. Considerações sobre o capítulo	90
8. Conclusão	91
9. Recomendações finais	92
10. Referências Bibliográficas	93





# 1. INTRODUÇÃO

Para cada solicitação, há diversos tipos de pavimentos possíveis e a análise de qual o mais eficiente para a situação em estudo é de suma importância na engenharia civil. Fatores como custo, disponibilidade de mão de obra e matéria prima, condição do solo existente e necessidade oriunda do uso, são essenciais no levantamento das opções consideradas.

No estudo em questão, busca-se avaliar o desempenho do pavimento em concreto reforçado com fibras (CRF) realizado como piso de um conjunto de galpões logísticos observando-se além de sua composição, também seu método executivo. Para isso, foram realizadas visitas guiadas à projetista, que orientou a equipe em relação ao projeto, e ao campo, onde a mesma se situou em relação à obra. A seguir tem-se as atividades realizadas, suas respectivas datas e atividades desenvolvidas.

Reunião 1: 15/05/2019

Nesta data o grupo compareceu à LPE Engenharia (Avenida Vereador José Diniz, 3300-São Paulo-SP) a fim de tomar conhecimento das características do projeto (tipo de junta empregada em cada local, espessura do piso, fator de forma da fibra metálica, características do concreto, camadas inferiores do piso, barras de transferência) e local da obra

Visita 1: 24/05/2019

O grupo compareceu ao Condomínio Logístico GLP Cajamar II (Av. Dr. Antônio João Abdalla, 1265-Cajamar - SP) a fim de observar e verificar a execução propriamente dita dos pisos dos galpões e sistemas complementares. O galpão A já estava finalizado, o B estava ainda na etapa de tratamento do subleito com cal e o C (objeto de estudo) estava parte finalizado, parte na concretagem do piso e parte na execução da base em BGS.

Reunião 2: 28/10/2019

O grupo visitou a LPE Engenharia a fim de obter mais informações relativas ao dimensionamento do piso (método utilizado, espessuras adotadas, propriedades das fibras), cargas de projeto, hipóteses de cálculo, bibliografia utilizada.

Visita 2: 20/12/2019

O grupo compareceu ao Condomínio Logístico GLP Cajamar II a fim de observar possíveis problemas no piso de concreto e sistemas complementares. O que foi observado na ocasião está mostrado no tópico pertinente abaixo.

Segundo José Tadeu Balbo, o concreto com fibras é uma tecnologia mais recente no país, sendo sua origem em meados da década de 60, quando foi testado em pavimentos de concreto em aeroportos. Segundo Antônio Figueiredo, esta tecnologia dá ao concreto, anteriormente frágil, uma diminuição da concentração de tensões nas extremidades das fissuras. Onde esse trabalha como ponte de transferência entre as tensões, o que acarreta

numa diminuição da velocidade de propagação, fazendo com o que material passa a ter um comportamento pseudo-dúctil ou não frágil. (FIGUEIREDO, 2016).

Devido ao fato de o concreto com fibras ser uma alternativa viável ao concreto armado tradicionalmente e seu comportamento, e controle tecnológico, serem particulares, o tema torna-se atrativo e se justifica como foco deste trabalho de conclusão de curso.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho são:

- 1- Entender como funciona o concreto com fibras, sua composição e atuação.
- 2- Avaliar em quais situações é vantajoso a utilização do pavimento em concreto com fibras.
- 3- Estudar o caso prático entendendo seu projeto e execução.
- 4- Avaliar o dimensionamento realizado pela projetista no caso estudado através de estudo literário e simulação computacional.
- 5- Fornecer alternativas, caso necessário, para um melhor dimensionamento do pavimento.

## **3. JUSTIFICATIVA E MÉTODO**

A escolha do tema abordado nesta monografia envolve a necessidade da abordagem de um problema de engenharia de pavimentação a partir de um ponto de vista prático. O problema trata mais especificamente da avaliação de desempenho de um sistema de pavimentação em concreto com fibras de aço, que envolve inúmeros campos pertencentes à engenharia civil e a interface entre o conteúdo teórico massivamente abordado no curso com o que é desenvolvido na prática. Aspectos relativos ao projeto, execução da obra e pós-obra serão contemplados.

A elaboração da referida monografia se dará por meio da apropriação das premissas de projeto adotadas, do método construtivo executado, do acompanhamento da

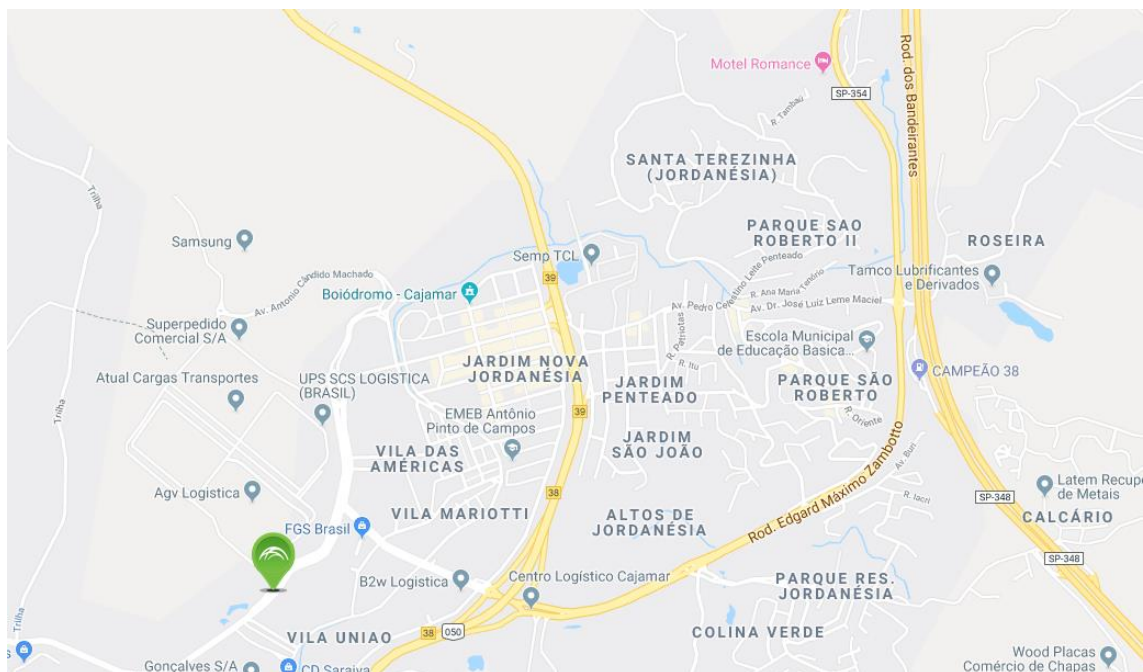
obra e posteriormente da verificação de conformidade normativa, o que possibilitará finalmente a concepção de uma análise crítica relativa aos aspectos mencionados imediatamente acima.

## **4. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

### **4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA REGIÃO**

O empreendimento em estudo, conjunto de galpões logísticos, está localizado em Cajamar, município brasileiro do estado de São Paulo, situado na região metropolitana de São Paulo na microrregião de Osasco.

O local é conhecido por possuir grande concentração de galpões industriais devido a sua proximidade com a capital de São Paulo e seu fácil acesso a importantes corredores de transportes como a Rodovia Anhanguera (SP-330), Rodovia dos Bandeirantes (SP-348) e Rodoanel Mário Covas (SP-021). Além disso, o município de Cajamar faz parte



*Figura 1 - Localização do Galpão Industrial em Cajamar com detalhe para a proximidade das importantes vias de acesso*

do sistema rodoviário que liga o Norte do país ao Porto de Santos, o maior da América Latina. Assim, a região é bem localizada do ponto de vista industrial, abrigando, inclusive, outros condomínios industriais como o Prologis Cajamar I e II e G8 – Condomínios de Galpões Cajamar, ambos da área de galpões logísticos.

Além disso, o fato de ser uma região industrial em crescimento mostra o potencial de expansão possibilitando a aquisição de grandes áreas para a ampliação dos galpões em estudo.

## **4.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

O caso em estudo trata-se de um galpão modular industrial presente em um condomínio logístico, Cajamar II, em Cajamar. A empreiteira responsável pela execução da obra foi a empresa Ribeiro Caram, que tem como objetivo construir galpões industriais e alugá-los para empresas da área de estoque e logística como Mercado Livre e Kalunga. A empresa que nos possibilitou o contato com o empreendimento foi a GLP, gestora de fundos imobiliários chinesa, que ficou responsável pelos projetos dos pisos dos galpões.

O objetivo do empreendimento como um todo é fornecer um local funcional e seguro para armazenagem de materiais variados por meio de galpões genéricos, que se adequem a estocagem de diversos tipos de produtos. Para garantir esse atendimento geral, a estrutura do galpão foi desenvolvida para se adaptar à necessidade do cliente. Algumas peculiaridades do projeto são devido à esse fim como: o dimensionamento do piso, que

foi feito baseando-se em cargas críticas elevadas que abranjam a maior parte dos esforços oriundos dos diversos usos; o acesso ao galpão, facilitado por meio de docas dotadas de rampas que ajustam-se aos variados tipos de caminhões; e a localização das juntas, o menor número de juntas é possibilitado devido às grandes dimensões das placas, o que evita descontinuidades no rolamento das empilhadeiras, e a utilização de juntas metálicas reforça a continuidade das placas mesmo perante grandes esforços.

Até o momento da elaboração deste trabalho, havia o interesse, por parte da gerenciadora, de expansão do condomínio. Assim a distribuição dos galpões no terreno abre possibilidades para a construção de outras unidades, o que mostra a expectativa de aumento de demanda de mercado. A realidade de locação de galpões industriais é um interesse em ascensão segundo a projetista responsável pelo caso em estudo, LPE. Apesar de haver um interesse, por meio das empresas de varejo, em diminuir o volume de produtos estocados, a necessidade de armazenagem ainda existe e a possibilidade de locação é uma alternativa viável em diminuir custos e ganhar flexibilidade.



*Figura 2 - Condomínio Industrial Cajamar II*

#### **4.3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA OBRA**

A construção em estudo trata-se do galpão C, componente do condomínio industrial, junto com outros dois galpões, A e B, sendo o primeiro de 20.000m<sup>2</sup>, o segundo de 100.000m<sup>2</sup> e o terceiro de 10.000m<sup>2</sup>. Já a obra em estudo, decorre sobre a execução de um piso composto de concreto com fibras compondo tratamento e compactação da base e sub-base, concretagem e alisamento.

Ao longo do estudo de caso, observou-se três estágios da obra focando no tema deste trabalho que é a análise de desempenho do pavimento industrial de concreto com fibras. O galpão A estava finalizado, com o piso acabado como mostra a imagem a seguir. Como o mesmo não havia sido entregue ao cliente, pode-se observar com clareza possíveis defeitos oriundos da execução ou mesmo do projeto, sem a interferência de agentes externos. Foi possível, também nesta etapa, analisar o funcionamento dos

equipamentos entregues junto com a obra, como rampas de acesso, e como se dá a compatibilização dos componentes estruturais com o piso em estudo, como é o caso das docas e pilares.



*Figura 3- - Vista geral: Piso Finalizado (Galpão A)*

Na primeira visita realizada, o galpão C encontrava-se em execução. Sua estrutura e cobertura já estavam finalizadas e havia parte de sua área de piso finalizada, porém foi possível acompanhar a execução de grande parte do processo. Etapas como compactação de solo, concretagem do piso, nivelamento do mesmo e execução de testes em campo foram algumas das atividades em realização no local. Nesta fase, foi viável entender a compatibilização do projeto com a obra, identificar possíveis erros na execução, o cuidado da mesma quando do contato entre piso e estrutura, e acompanhar um pouco da rotina em andamento.





*Figura 4 - Limitação entre o piso finalizado e em execução*

Já o galpão B estava em uma fase mais inicial quando comparado com os demais. Além da estrutura metálica estar em execução, estava ocorrendo o tratamento de solo. No mesmo, pôde-se analisar os materiais e equipamentos utilizados no tratamento do solo, assim como sua execução, além de como é feita a organização de diversas frentes sobre o mesmo componente da obra.



*Figura 5 - Galpão B em execução*

## 5. ANÁLISE DO PROJETO EXECUTADO

O sistema de pisos sobre o qual versa essa monografia foi calculado com base na metodologia proposta por Meyerhof (1962). Essa metodologia analítica é uma vertente da Teoria das Charneiras Plásticas e considera a estrutura do piso trabalhando no regime plástico e cargas na borda, canto e centro da placa. Nesse sentido, convém pontuar que a projetista não forneceu a memória de cálculo do dimensionamento detalhada, apenas verbalmente a fim de resguardar sua propriedade intelectual.

### 5.1. TEORIA DAS CHARNEIRAS PLÁSTICAS

A Teoria das Charneiras Plásticas é uma teoria de cálculo e dimensionamento estrutural do concreto armado onde o trabalho produzido na rotação das fissuras nas lajes é igual ao trabalho das cargas acidentais que atuam sobre o elemento em estudo. Neste modelo, as análises são feitas de maneira a desprezar as deformações elásticas, admitindo que os deslocamentos se concentram nas linhas de fissuras e que a deformação máxima é um valor unitário. Dessa forma, trata-se de uma teoria de dimensionamento de esforços em regime plástico (BALBO, 2009).

Dessa forma, o estudo verifica estados críticos de ruptura de maneira que a plastificação seja o estado limite, para isso, deve-se admitir que o material possua ductilidade suficiente para que a ruptura se desenvolva na curvatura e que o momento resistente seja preservado no comprimento da placa.

No processo de ruptura, Kennedy e Goodchild (2003) mostra que o colapso ocorre quando as charneiras surgem, após isso o mecanismo divide a placa em regiões rígidas, as áreas isoladas sofrem rotação nos eixos de rotação (suportes) e todas as deformações concentram-se nas fissuras que atuam como rótulas plásticas. Assim é justificado a importância da monitoração das aberturas de fissuras contidas na placa.

Segundo BALBO (2009, p. 255), o cálculo dos momentos fletores usa-se o princípio dos trabalhos virtuais e parte-se do pressuposto de que a energia externa aplicada pelas cargas acidentais é igual à energia interna, dissipada nas charneiras ou rótulas plásticas. Assim:

$$\sum N. \delta = \sum m. l. \theta$$

Onde N é a carga atuante, o deslocamento vertical oriundo da carga N nessa região, m é o momento resistente da placa por metro linear de fissura, l é o comprimento da fissura ou sua projeção até o eixo de rotação, e a rotação sofrida pelo eixo de rotação.

A localização das linhas de fissura possíveis (charneiras) deve possuir o eixo de rotação nas extremidades de suporte das regiões, serem linhas retas e acabarem nos contornos das placas. A determinação do momento fletor é realizada através da utilização da fórmula anterior e com uma certa experiência do engenheiro na localização das fissuras presentes nas placas.

### 5.1.1. MÉTODO DE MEYERHOF (RODRIGUES, FARIA E SILVA;2015)

Considere-se o ponto **A** da figura abaixo. Cada carga situada a uma determinada distância deste ponto irá produzir nele um determinado esforço, função direta da sua posição relativa (Rodrigues, Faria e Silva;2015).

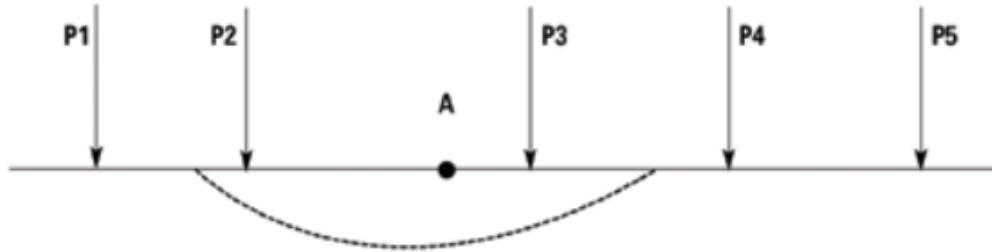


Figura 6 - Esquema de distribuição de cargas

No plano cartesiano, podemos representar um círculo de influência **RC** dentro do qual qualquer carregamento irá promover um incremento em **A**. O diâmetro desse círculo é função do raio de rigidez relativa, que é dado pela expressão:

$$\ell = \left( \frac{E \times h^3}{12(1-\mu^2) \times k} \right)^{0,25}$$

Equação 1 - Diâmetro do círculo de influência

Onde:

$\ell$  é o raio de rigidez relativa(m)

E é o módulo de elasticidade do concreto (Pa)

h é a espessura da placa de concreto(m)

$\mu$  é o coeficiente de Poisson do concreto

k é o coeficiente de recalque (Pa/m)

O raio de influência, a partir de **A** é dado por:  $R_c = N \times \ell$ . N pode variar de 1 a 2 e sua escolha é opção do projetista. No entanto, valores inferiores a 1,5 devem ser respaldados com base em estudos complementares.

Uma vez determinado  $R_c$ , o cálculo das cargas contribuintes é bastante simples quando assumimos distribuição triangular, sendo máxima no ponto considerado (A) e zero em  $R_c$ .

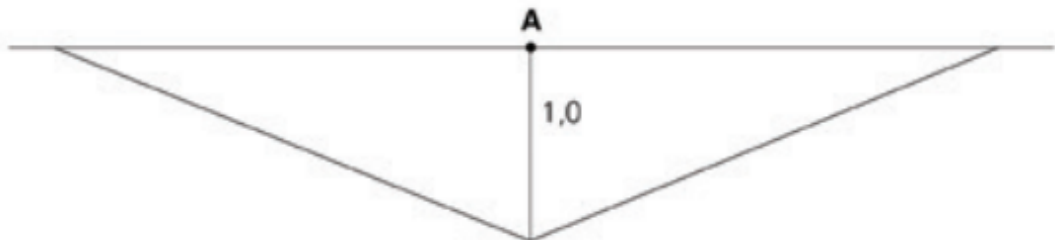


Figura 7 - Distribuição Triangular

Na figura 5.3, as cargas P1, P4 e P5 estão fora da zona de contribuição, não incrementando as tensões em A.

As cargas contribuintes geradas por P2 e P3 podem ser calculadas por semelhança de triângulos:

$$\frac{\gamma_2}{1} = \frac{(n \times \ell - X_2)}{n \times \ell} ; \quad \frac{\gamma_3}{1} = \frac{(n \times \ell - X_3)}{n \times \ell}$$

*Equação 2 - Cargas contribuintes*

Portanto:

$$C_2 = P_2 \left( \frac{n \times \ell - X_2}{n \times \ell} \right) \text{ e } C_3 = P_3 \left( \frac{n \times \ell - X_3}{n \times \ell} \right)$$

*Equação 3 - Cargas contribuintes*

A soma das cargas  $C_2$  e  $C_3$  gera uma carga equivalente que substitui, na seção A, os P2 e P3, produzindo o mesmo esforço.

Novamente analisando a primeira figura, se  $P_2 = P_3$ , a seção do pavimento mais solicitada irá se localizar imediatamente abaixo de P2 ou P3 ou ainda a meia distância delas, devendo as duas seções serem pesquisadas; mas se  $P_2 \neq P_3$  a seção mais solicitada poderá ocorrer em qualquer ponto entre as duas cargas e a pesquisa deve ser mais abrangente.

O mesmo conceito pode ser empregado para outros tipos de carregamento e é muito útil, por exemplo, para cargas lineares. Neste caso, podemos discretizar a carga linear em várias cargas pontuais e se escolhermos distâncias infinitamente pequenas, a carga equivalente, após a integração, será o produto da carga linear “q” pela área do triângulo de base  $2 \times N \times l$  e altura unitária.

As fórmulas de Meyerhof (Meyerhof, 1962) chamam atenção pela simplicidade na utilização, apresentando também boa precisão e são padrão em países como a Inglaterra, empregadas nos procedimentos normativos de cálculo (Concrete Society, 2003). São elas:

$$\text{Carga Central: } P = M_o \times 6 \left( 1 + \frac{2a}{\ell} \right)$$

$$\text{Carga de Borda Livre: } P = M_o \times 3,5 \left( 1 + \frac{3a}{\ell} \right)$$

$$\text{Carga de Canto: } P = M_o \times 2 \left( 1 + \frac{4a}{\ell} \right)$$

*Equação 4 - Fórmulas de Meyerhof nos três casos*

Onde  $a$  é o raio da área carregada, considerada circular,  $l$  o raio de rigidez relativa da placa de concreto e  $M_0$  o momento resistente da seção. Inversamente, é possível determinar o momento gerado pelo carregamento e então calcular a seção resistente.

### **5.1.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE MEYERHOF**

O método de Meyerhof é limitado em sua aplicabilidade, pois considera placa de concreto semi-infinita como hipótese simplificadora, de modo que não permite visualizar fenômenos locais ou prováveis seções de ruptura. Embora tenha sido útil no passado no que tange o dimensionamento de placas de concreto, tornou-se ultrapassado e antiquado com o advento do método dos elementos finitos (MEF), que permite a modelagem real do domínio da estrutura e a verificação de efeitos localizados, como concentração de tensões. Além disso, é conveniente pontuar que o método de Meyerhof não considera barras de transferência nas placas de concreto, o que o método dos elementos finitos faz.

## **5.2. PARÂMETROS E DETALHAMENTO DO**

**PROJETO** O piso do galpão é constituído por 33 placas de concreto com fibra, agrupadas em 3 fileiras e 11 colunas como mostra parte da planta a seguir. As dimensões da placa padrão são de 25m por 25m com 14cm de espessura. Embora a imagem da planta na figura 8 não esteja tão nítida, pode-se compreender a dimensão do galpão C como um todo, e em sequência é apresentado em detalhe na figura 9 umas das placas do conjunto, e a respectivas legendas na figura 10. A projetista também forneceu as notas do projeto, que se encontram nas figuras 10, 11 e 12, onde podem ser encontrados os parâmetros de projeto utilizados

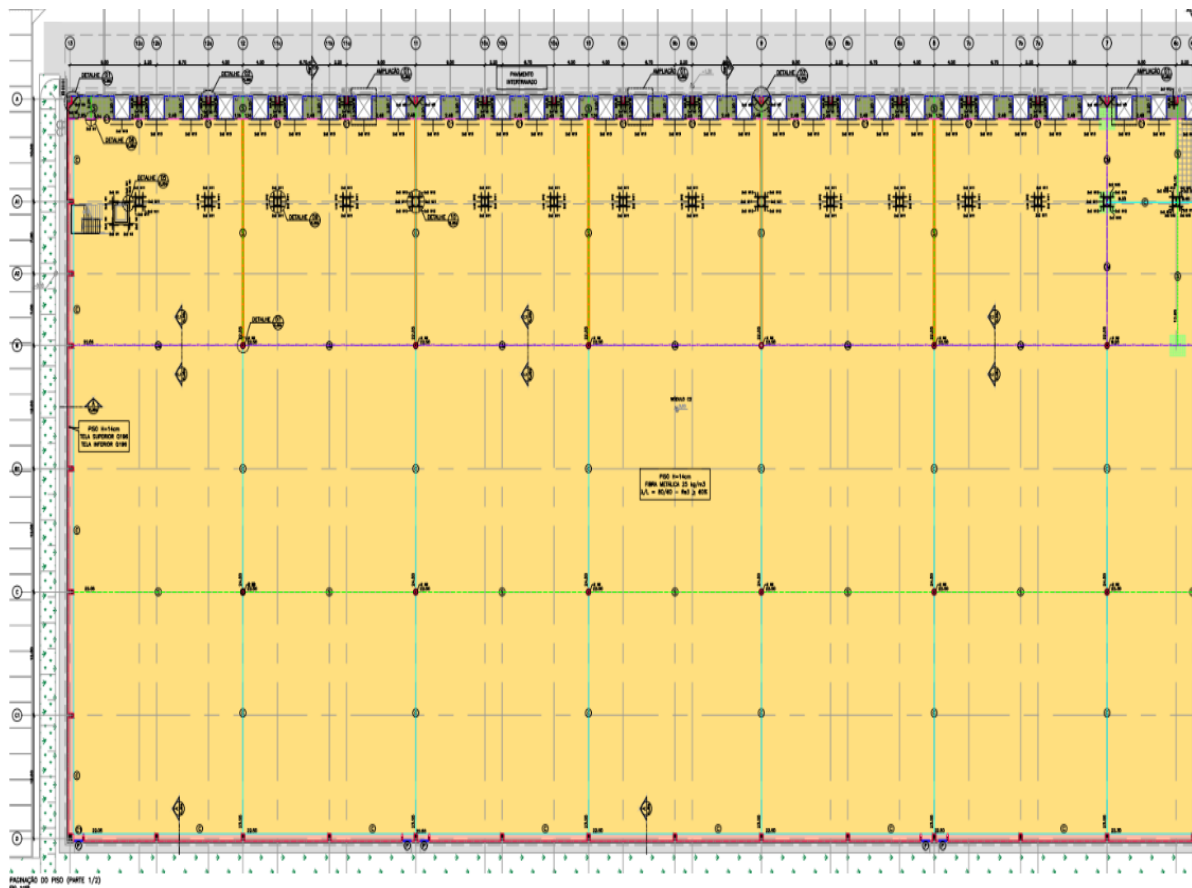


Figura 8-Planta baixa representativa do piso em estudo

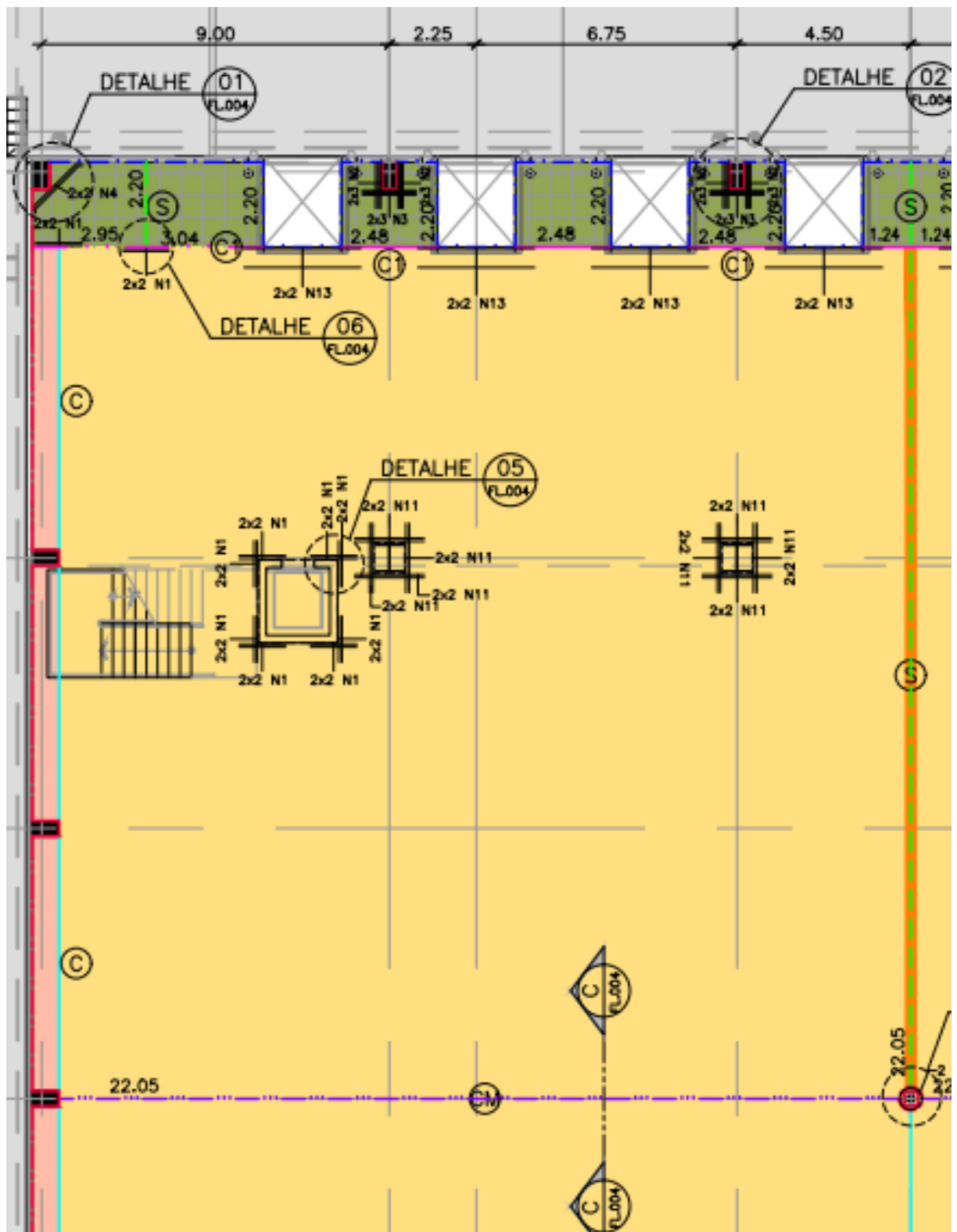


Figura 9 - Detalhe da planta baixa



## LEGENDA

	JUNTA DE CONSTRUÇÃO (C) – VER SEÇÕES
	JUNTA SERRADA (S) – VER SEÇÕES
	JUNTA DE ENCONTRO (E) – VER SEÇÕES
	JUNTA DE CONSTRUÇÃO (C1) COM BARRA DE TRANSFERÊNCIA SEÇÃO QUADRADA – VER DETALHE 06
	JUNTA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA (CM) – VER CORTE C-C
	PERÍMETRO DO PISO (P) – VER SEÇÕES
	JUNTA COM LÁBIO POLIMÉRICO
	COTAS DE NÍVEL CONFORME PROJETO DE ARQUITETURA
	PISO H=14cm 25 kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA METÁLICA $\lambda/L = 80/60$ Re3 $\geq 60\%$
	PISO H=14cm – SEM FILME PLÁSTICO / SOBRE CONCRETO MAGRO – VER CORTE D-D 25 kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA METÁLICA $\lambda/L = 80/60$ Re3 $\geq 60\%$
	PISO H=14cm – TELA SUPERIOR Q196 / TELA INFERIOR Q196
	PLACAS COM REFORÇO DE TELA SUPERIOR Q138 – VER DETALHE TÍPICO (INTERROMPER A 2.5cm DAS JUNTAS)
	REFORÇO DE TELA SUPERIOR Q196 – VER DETALHE TÍPICO / OBSERVAÇÃO IMPORTANTE FOLHA 005 (INTERROMPER A 2.5cm DAS JUNTAS)
	PISO/PAVIMENTO NÃO PROJETADO
	PAVIMENTO INTERTRAVADO (VER PROJETO LPE)

Figura 10 - Legenda da planta baixa

## CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (fck).....	$\geq 30$ MPa
2 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (fctm,k).....	$\geq 4,2$ MPa
3 – ABATIMENTO.....	100 a 120mm
4 – TEOR DE ARGAMASSA.....	49% a 52%
5 – CONSUMO DE CIMENTO.....	MÍN. 320kg/m <sup>3</sup> / MÁX 380kg/m <sup>3</sup>
6 – CONSUMO MÁXIMO DE ÁGUA.....	180 L/m <sup>3</sup>
7 – FIBRA DE POLIPROPILENO MONOFILAMENTO.....	600 g/m <sup>3</sup>
8 – RETRAÇÃO HIDRÁULICA MÁXIMA (8 SEMANAS).....	250 $\mu\text{m}/\text{m}$
9 – TEOR DE AR INCORPORADO.....	$\leq 3\%$
10 – EXSUDAÇÃO.....	$\leq 4\%$
11 – RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO.....	$\leq 0,55$
12 – ADITIVO EXPANSOR E COMPENSADOR DE RETRAÇÃO:	
OPÇÃO 1: À BASE DE ÓXIDO CÁLCIO SUPER CALCINADO.....	MÍN. 10kg/m <sup>3</sup> (*)
OPÇÃO 2: À BASE DE SULFOALUMINATO DE CÁLCIO.....	MÍN. 10kg/m <sup>3</sup> (*)

(\*) DOSAGEM A SER VERIFICADA COM O FORNECEDOR.

### OBSERVAÇÃO:

FAZ PARTE DO ESCOPO DA LPE ENGENHARIA A ANÁLISE DA CARTA-TRAÇO DO CONCRETO PARA O PISO. O FORNECEDOR DO CONCRETO DEVERÁ ELABORAR A CARTA-TRAÇO E ENVIÁ-LA PREVIAMENTE PARA A ANÁLISE DA LPE ENGENHARIA, NO ENDEREÇO [traco@lpe.eng.br](mailto:traco@lpe.eng.br), INFORMANDO OS DADOS/INFORMAÇÕES DO CLIENTE/OBRA. DEVERÁ SER ENVIADO JUNTO COM A CARTA TRAÇO, A GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS E OS ENSAIOS DE CIMENTO.

Figura 11 - Detalhe da planta baixa: Características do concreto

## NOTAS GERAIS – PISO DE CONCRETO

- 1 – ARMADURA DE REFORÇO : TELA DE AÇO CA-60.
- 2 – AS FIBRAS DE AÇO DEVERÃO ATENDER AS ESPECIFICAÇÕES DA ABNT NBR 15530 – FIBRAS DE AÇO PARA CONCRETO – TIPO A, CLASSE I.
- 3 – O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS APRESENTADAS NESTE PROJETO É APENAS SUGESTIVO, PODENDO SER ADOTADO QUALQUER OUTRO PROCESSO, DESDE QUE OS DISPOSITIVOS UTILIZADOS GARANTAM A POSIÇÃO ESPECIFICADA DAS ARMADURAS, E NÃO COMPROMETAM A ESTRUTURA DE CONCRETO.
- 4 – EMPREGAR FILME PLÁSTICO COM ESPESURA MÍNIMA DE 0.15mm ENTRE A SUB-BASE E A PLACA DE CONCRETO. NAS REGIÕES DAS EMENDAS, DEVE-SE PROMOVER UMA SOBREPOSIÇÃO DE PELO MENOS 15cm.
- 5 – NÃO EMPREGAR MANGUEIRA NEM RETIRAR AS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA DAS JUNTAS DE CONSTRUÇÃO DURANTE OU APÓS AS CONCRETAGENS.
- 6 – AS TOLERÂNCIAS EXECUTIVAS DA ESPESURA DA PLACA DE CONCRETO DEVERÃO SER DE -5mm e +10mm. E PARA A SUB-BASE DEVERÃO SER  $\pm 10\%$  DA ESPESURA INDICADA EM PROJETO.
- 7 – SUB-BASE DE BRITA GRADUADA SIMPLES FAIXA "A" PARA ÁREAS EXTERNAS E FAIXA "B" PARA ÁREAS INTERNAS (DNIT 141/10-ES), COMPACTADA A 100% PROCTOR MODIFICADO.
- 8 – RECOMENDA-SE O MÁXIMO CUIDADO NA EXECUÇÃO E CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DO REATERRO NAS ÁREAS PRÓXIMAS AOS MUROS DE DOÇAS, PLATAFORMAS E BASES DE PILARES.
- 9 – DEVERÁ SER PREVISTO O USO DE ASPERSÃO DE AGREGADOS MINERAIS COM CIMENTO (MÍNIMO 4 kg/m<sup>2</sup>). RESISTÊNCIA À ABRASÃO MÍNIMO CLASSE B ABNT NBR 11801 OU CLASSE 3 DA BS 8204: PART 2. EXCETO NO CASO DE REVESTIMENTO NO PISO.
- 10 – ACABAMENTO SUPERFICIAL: DESEMPENADO LISO.
- 11 – DEVERÁ SER EXECUTADA CURA DO TIPO ÚMIDA, MANTENDO A SUPERFÍCIE COMPLETAMENTE SATURADA COM ÁGUA POR PELO MENOS 7 DIAS.
- 12 – DIMENSÕES E COTAS DE NÍVEIS EM METROS, DETALHES E CORTES EM CENTÍMETROS.
- 13 – VALORES GLOBAIS DE F-NUMBER:  
VALORES GLOBAIS DE F-NUMBER:  
- ÁREAS INTERNAS: FF $\geq$ 40 FL $\geq$ 30 VALORES MÍNIMOS LOCAIS: FF $\geq$ 30 FL $\geq$ 23.  
- ÁREAS EXTERNAS: FF $\geq$ 25; VALORES MÍNIMOS LOCAIS: FF $\geq$ 19  
SEÇÕES DE MEDIÇÃO DE ACORDO COM ACI-117. AFERIÇÃO DE ACORDO COM A NORMA ASTM E-1155-96.
- 14 – PARA DIMENSIONAMENTO E CARGAS, VER SEÇÕES TÍPICAS DOS PISOS.
- 15 – O PISO EM QUESTÃO NÃO ESTÁ DIMENSIONADO PARA EMPREGO DE EMPILHADEIRAS TRI-LATERAIS OU COM FIO INDUTIVO.
- 16 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES: VER MEMORIAL TÉCNICO
- 17 – ESTE DESENHO DEVE ESTAR IMPRESSO COLORIDO.
- 18 – LPE N° 15453/18.

*Figura 12 - Detalhe planta baixa: Notas gerais*

## NOTAS DO SUBLEITO

- 1 – O SUBLEITO DEVERÁ APRESENTAR CBR  $\geq 8\%$  E EXPANSÃO  $\leq 2\%$  E ESTAR COMPACTADO EM SUA ÚLTIMA CAMADA DE 20cm (ÁREAS INTERNAS) E 30cm (ÁREAS EXTERNAS), COM GC $\geq 98\%$  PN.
- 2 – OS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO (CBR, EXPANSÃO E GC) DEVEM SER EXECUTADOS NO FINAL DA TERRAPLENAGEM. CASO OS ÍNDICES NÃO ATINJAM OS PARÂMETROS ESPECIFICADOS NO PROJETO HAVERÁ A NECESSIDADE DE EXECUTAR UM REFORÇO DO SUBLEITO, CUJAS CARACTERÍSTICAS E ESPESURA DA CAMADA DEVERÃO SER DIMENSIONADOS EM FUNÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS.
- 3 – ANTES DA EXECUÇÃO DO PISO, OS ENSAIOS DE SOLO DEVERÃO SER SUBMETIDOS À ANÁLISE DA LPE ENGENHARIA.

*Figura 13 - Detalhe planta baixa: Notas do subleito*

Diante da posse das plantas do projeto, parte-se para a análise da composição das placas do piso e suas interações. Em geral, o perfil do piso é representado pela figura abaixo:

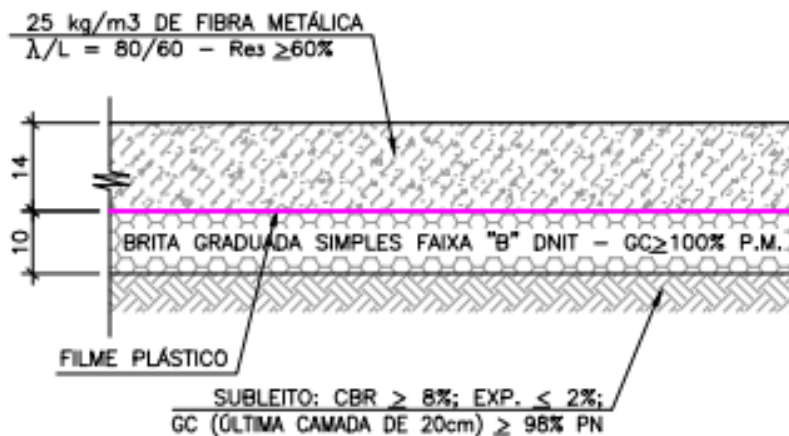


Figura 14 - Detalhe de projeto: Perfil genérico do piso

Com os documentos fornecidos pela projetista, foi possível observar uma dicotomia entre o que foi especificado no projeto e o realizado na obra. Enquanto o projeto recomendou usar fibras de polipropileno monofilamento, na obra foram usadas fibras de aço, o que dificulta o entendimento do projeto.

### 5.2.1. JUNTAS

A primeira interação que será comentada se dá entre as placas, como pode ser observado na planta há um vão entre as placas causado pela retração do concreto que é chamado de junta. Elas são classificadas em três tipos de juntas de acordo com suas características, a de construção, a serrada e a de encontro. A seguir iremos caracterizar cada uma delas com uma foto obtida na obra do tipo de junta em questão e sua respectiva vista em perfil.

As figuras 15 e 16 ilustram a junta de construção, ela é uma consequência natural do processo porque é formada devido à retração do concreto, que gera um vão entre as placas que deve ser o menor possível para garantir o bom tráfego das empilhadeiras.



Figura 15 - Junta de construção

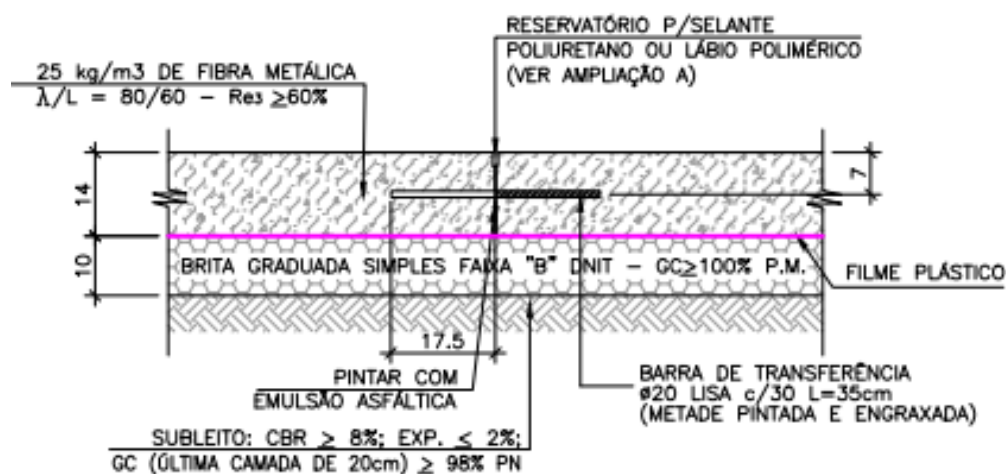


Figura 16 - Detalhe e projeto: Perfil da junta de construção

A segunda junta a ser analisada é a junta serrada, que é formada propositalmente por meio da ação de um operário que corta o concreto. O corte é projetado para ter 1/3 da espessura da placa e sua finalidade é induzir a fissura na placa como pode ser observado na foto in loco.



Figura 17 - Junta serrada

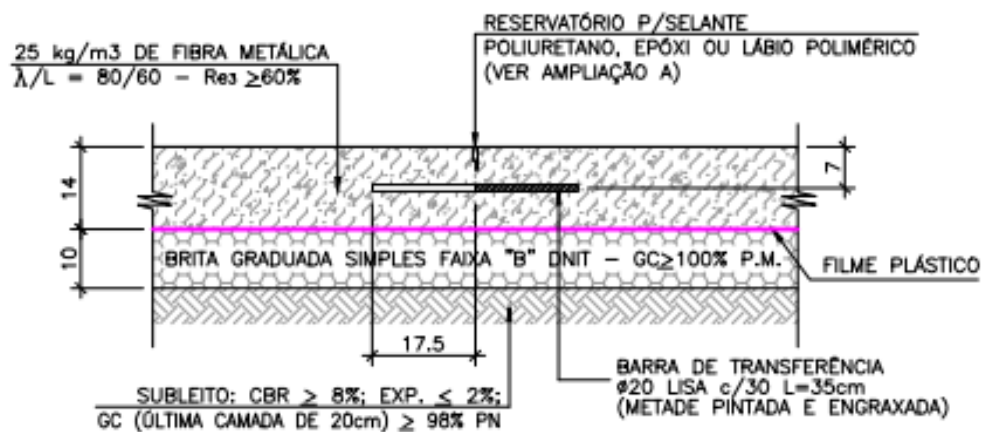


Figura 18 - Detalhe e projeto: Perfil da junta serrada

A terceira junta é caracterizada pela interação do piso com outra estrutura, e por isso é chamada de junta de encontro. Como o piso foi projetado para trabalhar de forma independente, deve-se garantir a mínima transferência de esforços entre as estruturas, e para isso utiliza-se um material compressível na região de contato, como o isopor, que foi utilizado no contato do piso com os pilares.





Figura 19 - - Detalhe e projeto: Perfil da junta de encontro

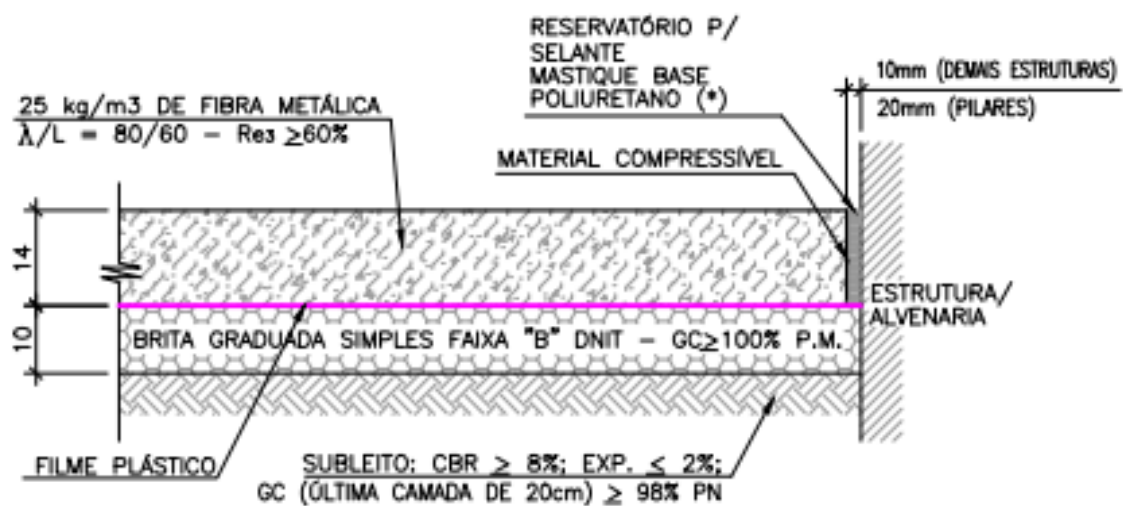


Figura 20 - Detalhe e projeto: Perfil da junta de encontro

Em alguns casos, em que a junta é muito solicitada, por meio do intenso tráfego de empilhadeiras, recorre-se a um reforço metálico. A imagem a seguir ilustra a recente tecnologia ainda não fabricada no Brasil, que além de proteger a junta permite a movimentação das placas, e o formato ondulado apresentado garante o deslocamento linear das empilhadeiras.



Figura 21 - Reforço metálico

Como todas as juntas estão sujeitas ao tráfego de empilhadeiras, as juntas sem o reforço metálico recebem um tratamento, de acordo com suas solicitações, para melhorar seu desempenho. Elas são classificadas quanto ao tráfego de empilhadeiras que pode ser intenso ou leve, de modo geral as juntas paralelas à linha de entrada das docas têm um tráfego intenso e as outras não, já que o tráfego de mercadorias se dá do porta pallet para as docas. As figuras de 22 a 25 representam os perfis de cada uma delas, assim como o material que foi usado no tratamento da junta:

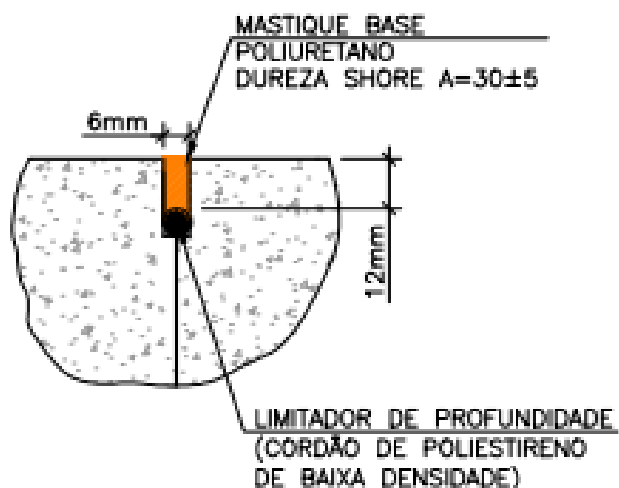


Figura 22 - Detalhe e projeto: Tratamento da junta de construção com tráfego leve

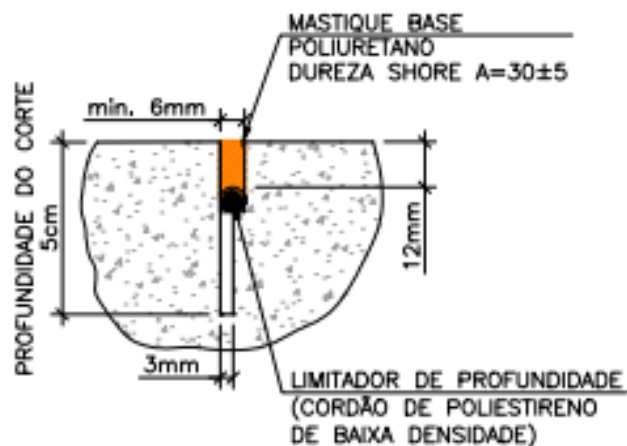


Figura 23 - Detalhe e projeto: Tratamento da junta serrada com tráfego leve

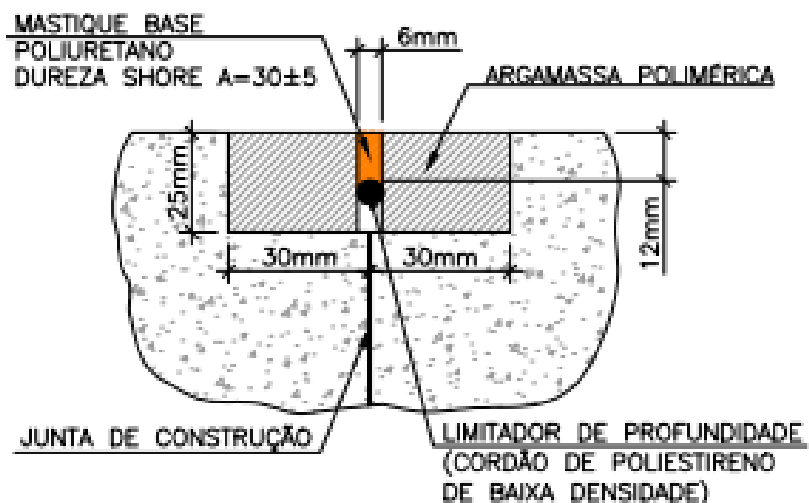
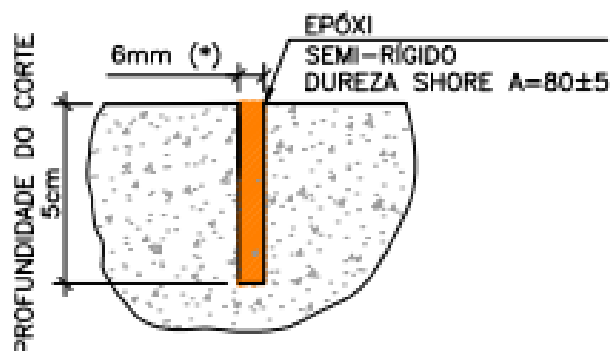


Figura 24 - Detalhe e projeto: Tratamento da junta de construção com tráfego intenso



(\*) O CORTE INICIAL DEVE SER FEITO COM 3mm. A ABERTURA FINAL É FUNÇÃO DE RETRAÇÃO DO CONCRETO.

Figura 25 – Detalhe e projeto: Tratamento da junta serrada com tráfego intenso



### 5.2.2. BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

Conforme mostrado nos perfis anteriores, nota-se a presença de uma barra de transferência de carga entre as placas, com a finalidade de transmitir cargas verticais de uma placa para outra. Na obra em questão as barras foram projetadas para que seu eixo coincida com a metade da espessura da placa, e o espaçamento entre elas é de 30cm como mostra a imagem a seguir. Além disso, metade da barra é tratada com graxa para permitir o deslizamento horizontal das placas devido à expansão e retração do concreto.



Figura 26 - Barra de transferência

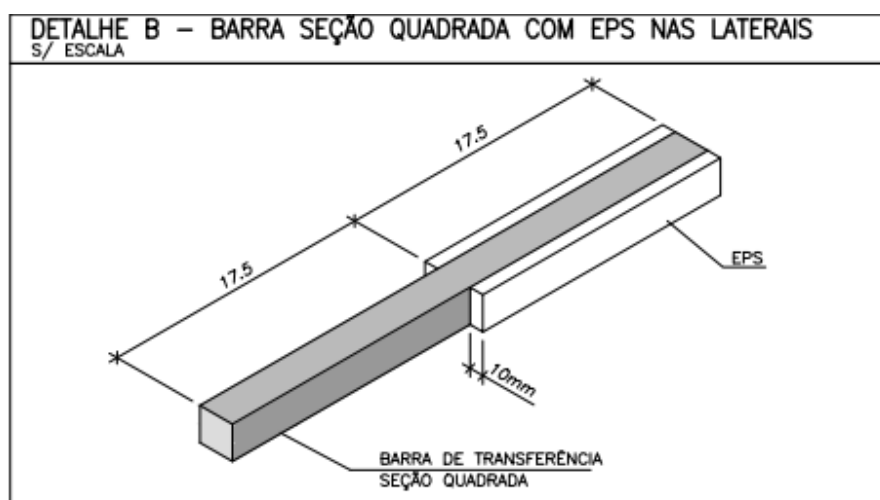


Figura 27 - Detalhe em projeto: barra de transferência

Agora será analisado a disposição das barras de transferência de carga no encontro entre placas com diferentes tipos de juntas. A figura 28 mostra que na região de encontro da junta de construção com a serrada as barras de transferência são orientadas de acordo com as já presentes na junta serrada.

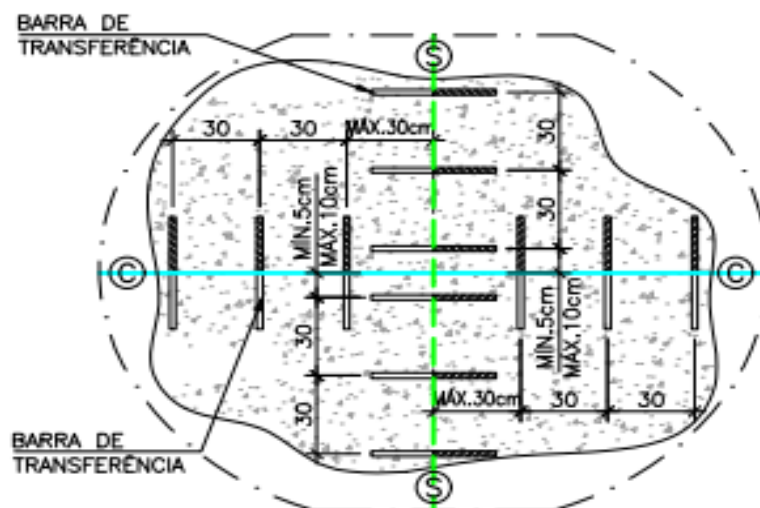


Figura 28- Detalhe em projeto: Vista em planta do encontro da junta de construção e da junta serrada

Já no encontro com o pilar, o espaçamento entre as barras mais próximas do pilar é diminuído pela metade, tanto na junta serrada quanto na de construção, conforme pode ser observado na vista em planta abaixo. A redução do espaçamento tem a finalidade de fortalecer a região da placa próxima ao pilar contra eventuais esforços verticais oriundos do pilar.

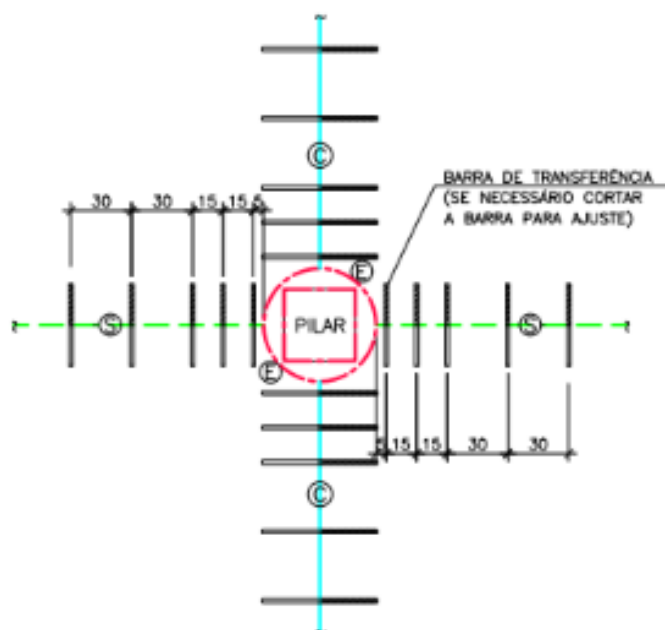


Figura 29 - Detalhe em projeto: Vista em planta das barras de transferência próximas ao pilar

Por fim, quando o reforço metálico é utilizado, ele já garante a transmissão de cargas verticais entre as placas e também permite que as placas se desloquem. Portanto, não haverá barra de transferência nas juntas com reforço metálico, como mostra a figura 30.

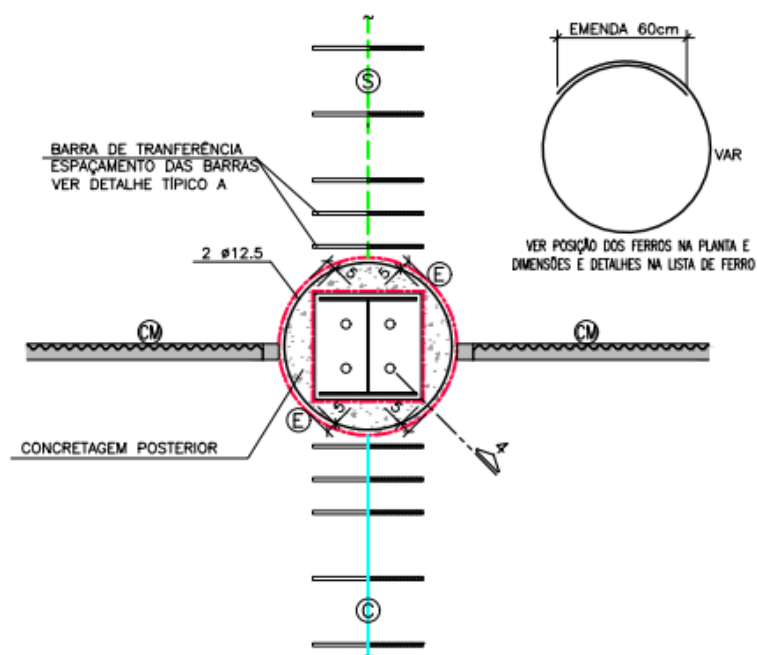


Figura 30 - Detalhe em projeto: Vista em planta das barras de transferência quando há reforço metálico

### 5.2.3. DOCAS

A operação realizada no galpão logístico é o armazenamento e a distribuição de produtos, para que isso aconteça é necessário receber e enviar os produtos, e com esse propósito foram construídas as docas. É um espaço direcionado à transferência da mercadoria do veículo de transporte para o galpão e do galpão para o veículo. As docas apresentam uma rampa ajustável em sua plataforma para auxiliar esse transporte de acordo com as especificações do veículo. Para compreender melhor sua composição e seu funcionamento, a seguir estão ilustradas as vistas em planta e em perfil das docas.

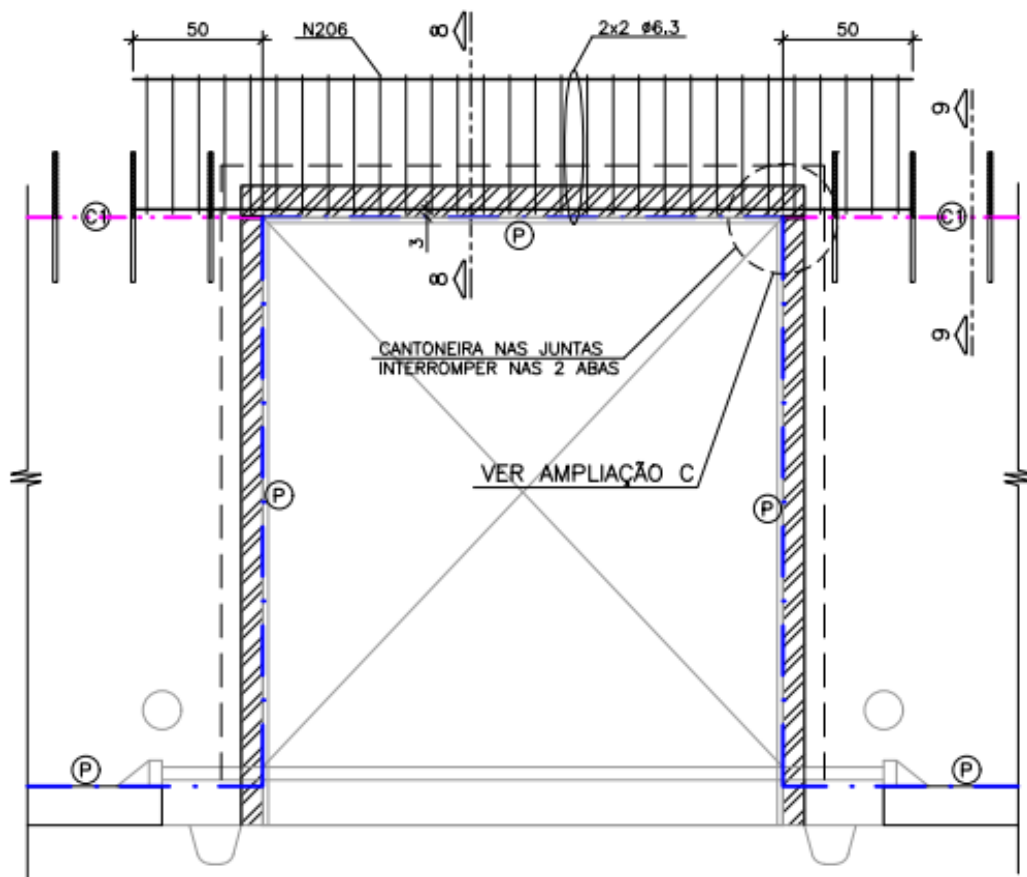


Figura 31 - Detalhe em projeto: vista em planta das docas

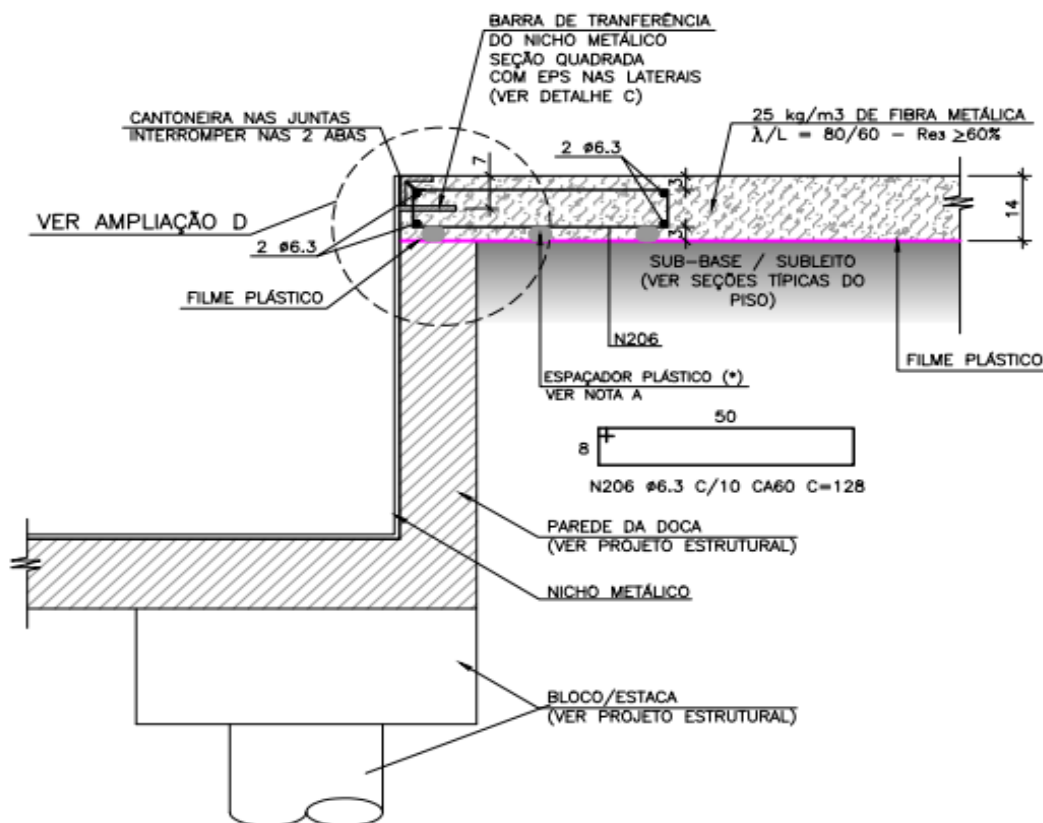


Figura 32 - Detalhe em projeto: Vista em perfil das docas

### 5.3. DRENAGEM

A empresa responsável pelo projeto de drenagem foi a Geobrax Infraestrutura Engenharia. A única informação que disponibilizaram após diversas tentativas de contato é sobre o caimento do pavimento externo que é de 2%.

### 5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo procurou esclarecer o método utilizado pela projetista para realizar as placas de concreto com fibras. Entendido a parte teórica, evidenciou os parâmetros de projeto, e apresentou os detalhes de projeto como as juntas e as barras de transferência. A fim de acompanhar a execução do projeto, o grupo visitou a obra e trouxe para essa monografia os processos realizados pela construtora.

## **6. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DA OBRA**

### **6.1. MÉTODOS CONSTRUTIVOS E EQUIPAMENTOS EMPREGADOS**

Inicialmente, foi executado o tratamento do subleito com adição de 6% de cal ao solo predominantemente silte arenoso. Em seguida, realiza-se a compactação do subleito, cujo grau de compactação deve ser 98% (Proctor Normal). Após o estudo do solo e a identificação de sua composição, inicia-se seu preparo a fim de torná-lo nivelado e compactado. Tendo o nível de projeto, define-se os locais que devem ocorrer cortes e aterros, então utiliza-se a retroescavadeira para realocar o excesso ou cobrir a falta de solo e para distribuir materiais a serem adicionados ao solo.



*Figura 33 - Retroescavadeira*

Além disso é necessário um caminhão pipa a fim de garantir a umidade adequada para a compactação.



*Figura 34 - Caminhão Pipa*

Posteriormente, utiliza-se a Motoniveladora ou Patrol, equipamento de muita força que consegue espalhar ou cortar grandes volumes de material, tem a função de cortar



ou aterrar subleitos, sub-bases e bases de acordo com as estacas de marcação topográfica e permite um ajuste fino no nivelamento. Elas também são utilizadas no tratamento do subleito com solo cal.



*Figura 35 - Motoniveladora ou Patrol*

Depois que a Patrol deixa a camada de material pronta, ou no greide, passam-se os rolos para compactar o material até atingir o “grau de compactação” de projeto. Para isso são utilizados diferentes tipos de rolos, exceto os rolos vibratórios porque a compactação vibratória pode induzir fissuras nas placas de concreto próximas que ainda estão no processo de cura. Primeiramente utiliza-se o rolo compactador pé-de-carneiro, sua função é penetrar superficialmente no solo para aumentar a área de contato, isso faz com que a coesão entre as partículas seja quebrada, o que favorece a evaporação para que o material possa ser compactado.



*Figura 36 - Rolo compactador pé-de-carneiro*

Em seguida, passa-se o rolo compactador liso, que tem a função de compactar materiais mais finos como bica corrida e acabamento de base para imprimação.



*Figura 37 - Rolo compactador liso*

Por último, o rolo compactador pneumático conclui a compactação atuando com a ação do seu próprio peso, e seus pneus de borracha têm a função de selar e desempenar o solo.





*Figura 38 - Rolo compactador pneumático*

Terminado o preparo do solo, iniciam-se os procedimentos para a concretagem. O primeiro passo é utilizar um filme plástico, com espessura de 0,15mm, com o propósito de impedir o contato entre as camadas, de modo que o atrito entre elas seja reduzido.



*Figura 39 - Lona preta plástica impermeável*

O próximo passo é despejar o concreto dos caminhões betoneira sobre as lonas. As fornecedoras de concreto contratadas foram as empresas Concrecity Prestação de Serviços em Concreto e Engemix S.A. Antes de ser lançado o concreto passa por um controle tecnológico que será detalhado ainda neste capítulo.



*Figura 40 - Despejo de concreto*

Em seguida tem-se o processo de sarrafeamento a fim de regularizar a superfície, que é realizado pela screed-laser, nivelada por meio de um emissor de laser em um tripé e um receptor na própria máquina que com o auxílio das réguas determina a cota do piso.



*Figura 41 - Screed-laser*

Sucessivamente atua a máquina distribuidora de agregados, com o objetivo de transmitir as tensões aplicadas ao concreto por meio dos grãos e reduzir as variações volumétricas causadas pela retração.



*Figura 42- Distribuidora de agregados*

O passo seguinte é a correção de possíveis ondulações na superfície do concreto, visando a planicidade da superfície de modo a assegurar a obtenção do índice de planicidade desejado, para isso é utilizado o rodo de corte.



*Figura 43 - Rodo de corte*

Por fim, a última etapa tem a função de dar acabamento, utiliza-se a máquina alisadora de concreto que confere brilho ao concreto.



*Figura 44 - Alisadora dupla de concreto*

Assim, o piso é finalizado.



*Figura 45 - Piso acabado*



## 6.2. CONTROLE TECNOLÓGICO

Na execução da obra é necessário garantir que as condições reais sejam as estipuladas em projeto. Para isso, ocorre o controle tecnológico que é a amostragem dos serviços em andamento através da realização de ensaios visando verificar se os serviços estão atendendo às especificações do projeto. Nesta etapa, são realizados testes em campo que forneçam dados para os parâmetros selecionados, de maneira que sejam garantidos os valores dentro dos estipulados em projeto. (CONTROLE TECNOLÓGICO E CONTROLE DE QUALIDADE – UM ALERTA SOBRE SUA IMPORTÂNCIA, 2004).

Dessa forma, para uma execução coerente com os parâmetros determinados em projeto é de suma importância uma realização criteriosa do controle tecnológico de alguns componentes. As etapas que visam um maior controle são a camada final de terraplenagem, produção do concreto e concretagem.

Na realização da terraplenagem, utiliza-se, o método comum em concreto armado tradicional e com fibras, a viga Benkelman para medir as deflexões do pavimento. O método consiste em acoplar a referida viga a um caminhão e conforme este se desloca pelo terreno já tratado e nivelado, observa-se a oscilação da viga e obtém-se a bacia de deformação do local. A imagem a seguir ilustra o momento em que o operário direciona a régua para começar as medições.



*Figura 46 - Aplicação do Método Viga Benkelman.. Fonte: Do autor*

Na etapa de produção do concreto deve-se atentar não apenas aos cuidados comuns do material como verificação da trabalhabilidade através do teste de *Slump* e rompimento de corpo de prova, mas também a verificação do teor de fibras de aço, formação de “ouriços”, pequenos aglomerados de fibras na massa de concreto, e verificação de ar incorporado no concreto, métodos específicos do concreto com fibras.

É estipulado em projeto um teor de fibras metálicas de 25 kg/m<sup>3</sup>, esta é determinada na concreteira, onde há a mistura da fibra com o concreto, e confirmada no canteiro. O processo se inicia com a separação de uma quantidade de massa (Figura 47), esta é misturada com água (Figura 48) e com o auxílio de um ímã, separa-se as fibras contidas nesta porção (Figura 49). Pesa-se as fibras (Figura 50) e identifica-se qual a densidade real do material no campo. Este método também é útil na identificação de ouriços. Em ambos os casos, mantém-se sob controle a resistência da massa e garante-se a sua funcionalidade semelhante ao concreto armado, em que a peça resiste à compressão e à tração.



*Figura 47 - Obtenção da porção inicial da massa de concreto com fibras.*





*Figura 48 - Mistura da massa com água*



*Figura 49 - Separação das fibras metálicas através de aproximação por imã*





*Figura 50 - Fibras separadas e pesadas*

Ainda no processo de execução do concreto, é importante também o controle de ar incorporado na massa. Para isso, separa-se uma porção da massa e coloca-a em um equipamento semelhante a uma panela de pressão (Figura 51). Seu funcionamento faz com que o ar contido na massa seja liberado e sua pressão é identificada pelo equipamento. Assim, mantém-se sob controle o índice de vazios que terá a estrutura, sendo que a medida em campo deve ser inferior a 3%.



*Figura 51 - Equipamento medidor de pressão*



*Figura 52 - Medidor de ar incorporado*

Na fase de concretagem, o controle a ser realizado é não apenas de execução, mas também de garantia dos parâmetros de projeto. Estas especificações, estipuladas pela LPE Engenharia, norteiam a execução da obra como por exemplo: tolerância executiva da espessura da placa de concreto de -5,0 mm a + 10,0 mm, acabamento superficial desempenado liso, cura do tipo úmida e sendo a superfície completamente saturada com água por pelo menos 7 dias.

### **6.3. PATOLOGIAS OBSERVADAS**

Como a obra estudada é referência não apenas em execução, mas também em projeto, pôde-se observar poucos casos de patologias. Com o acompanhamento da execução do pavimento de concreto em fibras no galpão C, pôde-se observar algumas



patologias oriundas tanto de erros de execução como naturais ao processo. Estas dividem-se em patologias funcionais e estruturais.

Em relação às patologias superficiais, os defeitos ocorrem na superfície da placa, como sugere o nome. Dentre eles pode se destacar a presença de manchas estriadas, mostradas nas figuras 53, 54 e 55, decorrente do diferente tempo de concretagem na placa, causado normalmente por atrasos na chegada dos caminhões betoneiras ao local. superficiais e o desgaste superficial foi uma delas. É importante destacar que as manchas não afetam a resistência ou as propriedades mecânicas da placa.



*Figura 53 - Patologia Superficial: Manchas Estriadas*



*Figura 54 - Patologia Superficial: Manchas Estriadas*



*Figura 55 - Placas com diferentes tempos de concretagem*

A segunda patologia superficial observada é nomeada esborcinamento, retirada da norma DNIT061-2004 (Pavimento Rígido-Defeitos-Terminologia). Causada pela má operabilidade na execução da junta serrada, que leva ao rompimento da borda da placa que intercepta a junta, conforme a figura 56. Esse defeito resulta no baixo desempenho da junta, e pode ser agravado com o tráfego de empilhadeiras sobre a junta.



*Figura 56 - Esborcinamento e degrau de juntas*

Uma patologia superficial observada, característica do concreto com fibras, é a exposição de fibras no piso, que foi detectado principalmente na rampa de acesso ao galpão, retratado na figura 57, devido à falta dos processos de acabamento. No piso interno foi utilizado a alisadora dupla de concreto, assim as fibras expostas estavam alinhadas com o piso, como mostra a figura 58, não causando nenhum problema operacional, apenas estético.



*Figura 57 - Fibras expostas na rampa de acesso*



*Figura 58 - Fibra exposta no piso interno*

Em relação a patologia estrutural, o principal tipo encontrado em pavimentos rígidos, como o de concreto em fibras, é a fissuração, também presente na norma DNIT061-2004 (Pavimento Rígido-Defeitos-Terminologia) . Esta pode ser do tipo transversal, longitudinal, de canto, de retração hidráulica, plástica ou térmica. O tipo predominante de fissura na obra foi o de canto, como pode ser observado nas fotos, no encontro entre placas e pilar, figura 59, e nas portas de saída, figura 60





*Figura 59 - Fissura no encontro entre placas e pilar*



*Figura 60 - Fissura de canto na porta de saída*

Além das patologias superficiais e estruturais, notou-se um defeito relacionado à falta de proteção de um dos reforços metálicos utilizados. Na segunda visita à obra foi identificado uma junta metálica oxidada, conforme a figura 60.





*Figura 61 - Oxidação do reforço metálico*

Por fim, embora tenham-se notado as patologias acima, o grupo classifica o empreendimento com um bom desempenho em relação a quantidade e a qualidade dos defeitos, tendo em vista o grande porte da obra

#### **6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo procurou acrescentar à literatura a execução do piso industrial de concreto com fibras no galpão C do condomínio logístico Cajamar II. Apresentou os equipamentos utilizados e os métodos de projeto, o controle tecnológico para garantir os parâmetros de projeto, e mostrou as patologias constatadas nesse estudo de caso. Diante disso, esse estudo segue na direção de avaliar as decisões tomadas pela projetista e refletir sobre o método utilizado.

## 7. ANÁLISE CRÍTICA DO PROJETO

De posse dos métodos executivos fornecidos pela projetista, seus parâmetros utilizados e a execução em campo pela construtora, pôde-se ter uma boa visão de como a problemática do pavimento de concreto com fibras foi tratada no caso prático em estudo. Porém, além disso, vale a pena analisar criticamente a relação dos dois âmbitos, projeto e obra, no produto final e entender como e se o tema pode ser melhor tratado em experiências futuras.

A principal importância das fibras contidas no pavimento de concreto é manter o mesmo coeso mesmo na ruptura. As fissuras oriundas da exposição a tração da peça são inevitáveis, porém é função das fibras mantê-las em um nível não prejudicial à funcionalidade da estrutura.

Apesar de ser a técnica descrita ser uma alternativa ao concreto armado convencional, em que os esforços de tração são resistidos pela armadura de aço, as fibras metálicas não realizam a mesma função da última. Ela faz com que a peça como um todo resista à tração, porém não sendo a predominante responsável por esse papel.

Outro quesito em que o concreto reforçado por fibras (CRF) difere do convencional é nos métodos de controle tecnológico como mostrado neste trabalho no item 8.3. Este necessita de controle em campo comuns ao tradicional como o teste slump e a execução de corpos de prova para medição da resistência à compressão, mas também de alguns específicos do CRF como o controle de ar incorporado na mistura e o teor de aço na mistura.

Como exemplo de necessidade de controle tecnológico específico para esta solução, tem-se a imagem a seguir. Esta é uma porção de massa com alta concentração de fibras metálicas. A mesma não chega a ser considerada “ouriço”, porém devido ao grande grau de controle da obra e cuidado na execução, este é um exemplo da maior concentração de fibras encontrada.



*Figura 62 - "Ouriço" presente na massa de concreto*

### **7.1. Fundamentos do programa Everfe**

O Everfe é um software que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) para dimensionar placas de concreto, portanto considera o domínio real da estrutura e permite a identificação de efeitos locais. O usuário deve alimentar o modelo com as características geométricas da placa e das camadas subjacentes (quantidade de placas, comprimento, largura e espessuras), características dos materiais relativos a elas (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, densidade, base aderida ou não, módulo de reação do subleito e coeficiente de dilatação térmica), diversas cargas de eixos conjuntamente, gradiente térmico e malha a ser utilizada.

No que diz respeito à geometria, podem ser modeladas até 9 placas no mesmo modelo (em configuração 3 x 3 no máximo), bem como barras de ligação entre placas que estejam adjacentes uma à outra. Ainda, podem ser modeladas até 3 camadas

subjacentes à placa de concreto e os materiais que as compõem podem estar em condição aderida ou não aderida. Caso elas não estejam aderidas, é possível estipular a rigidez entre as mesmas.

As cargas de eixos podem ser inseridas com esforço computacional mínimo. É necessário informar o módulo da carga considerada, o posicionamento da mesma na placa, a área de contato com a placa e as distâncias entre rodas e entre eixos. Pode ser inserido mais de um tipo de carga por modelagem, inclusive gradiente térmico linear, bilinear e trilinear, segundo Davids (2003, p.1).

A malha é definida por meio da escolha do número de elementos nas colunas, linhas e profundidade (x, y e z, respectivamente). Deve-se atentar para o tamanho do arquivo (para que o arquivo gerado não seja muito grande e para que o tempo de execução não seja demasiadamente longo) e para o indicador “current maximum element aspect ratio” estar na cor azul.

As respostas fornecidas pelo programa incluem, segundo Davids (2003, p.1) tensões, deslocamentos, esforços internos e momentos, bem como valores críticos e consulta a valores em qualquer ponto no domínio.

## **7.2. SIMULAÇÕES COM PARÂMETROS DE PROJETO PARA CARGAS ISOLADAS**

ZM Out	1.0000	ZM In	FILE	SOLVE	VISUALIZE	HELP
Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing	

**Slab Layout**

☒ 1 row; 1 column

☐ 2 rows; 1 column

☐ 3 rows; 1 column

☐ 1 row; 2 columns

☐ 2 rows; 2 columns

☐ 3 rows; 2 columns

☐ 1 row; 3 columns

☐ 2 rows; 3 columns

☐ 3 rows; 3 columns

Column 1 Length (X mm)

Row 1 Width (Y mm)

Slab Thickness (Z mm)

First Skew Angle (deg)

Second Skew Angle (deg)

**Base and Subgrade**

☒ No Layer

☐ 1 Layer

☐ 2 Layer

☐ 3 Layer

Figura 63 - Printscreen da geometria utilizada no software Everfe

As dimensões da placa foram fornecidas pelo projetista (25 m x 25 m e espessura 14 cm). Além disso, a sub-base de BGS de 10 cm não teve sua espessura considerada no software, uma vez que se trata de camada granular. O subleito tratado com cal teve espessura especificada em 20 cm. É importante mencionar que as barras de transferência não foram consideradas no modelo porque o método de Meyerhof, utilizado pelo projetista, também não as considera no cálculo.

Materiais

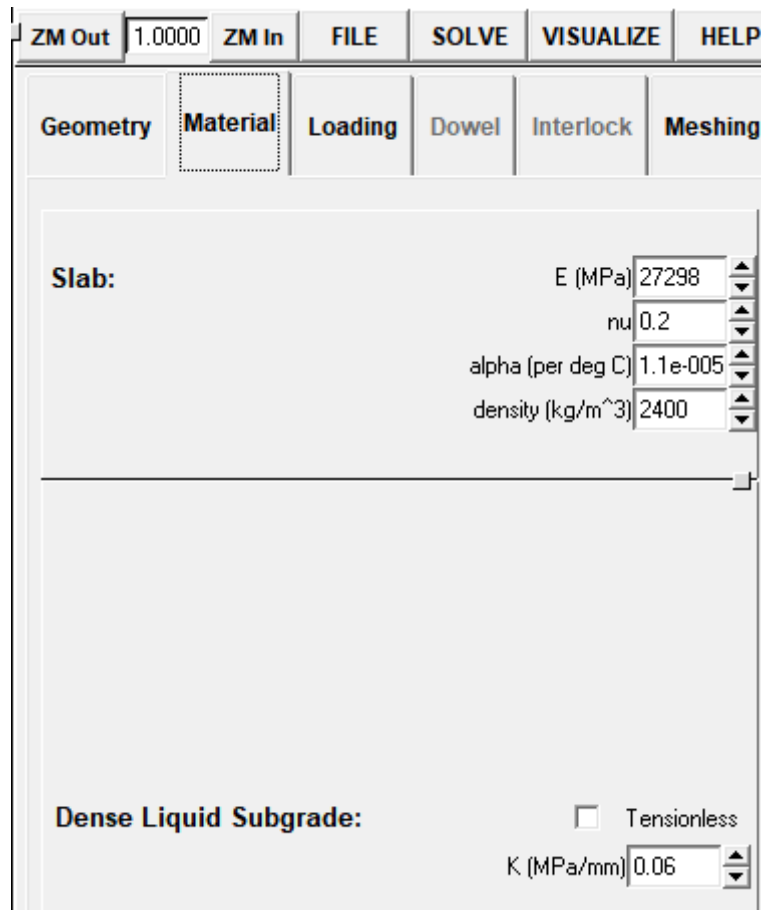


Figura 64 - Printscreen dos parâmetros relativos aos materiais no software Everfe

O módulo de elasticidade e a densidade do concreto foram fornecidos pelo projetista. Os demais parâmetros relativos ao concreto foram os defaults considerados pelo programa. Conforme especificado acima, a sub-base teve sua espessura desconsiderada. Com isso, considerou-se a placa apoiada sobre subleito e o módulo de reação do subleito original (0,048 MPa/mm) teve um incremento em 25%, de modo que o valor colocado no modelo foi  $0,048 \times 1,25 = 0,06$  MPa/mm.

## Cargas:

## Carga de empilhadeira

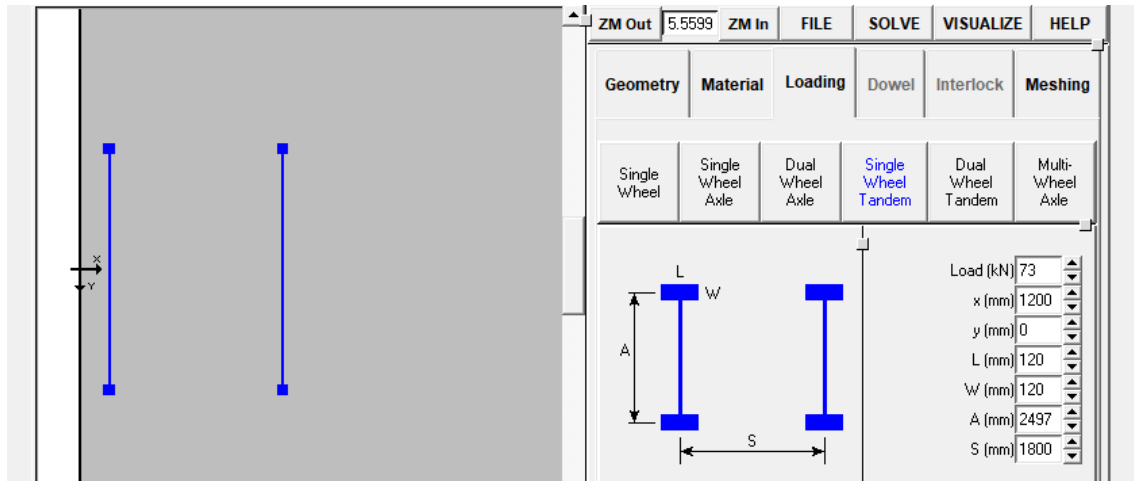


Figura 65 - Carga representativa da empilhadeira no Everfe

A carga de 73 kN foi obtida por meio da carga de empilhadeira\* coeficiente de majoração. Esse coeficiente, segundo Rodrigues, Faria e Silva (2015, p.68),” para ações variáveis (ex:empilhadeiras) vale 1,5”.

$$C = 5tf * 9,8 \text{ kN/tf} * 1,5 = 73,5 \text{ kN}$$

Segundo Rodrigues, Faria e Silva (2015, p.63), “a pressão de enchimento da roda da empilhadeira é  $q=1,75 \text{ MPa}$ ”. Além disso, a carga de empilhadeira é  $P=5tf$  no eixo dianteiro. Dessa forma, considerando o eixo dianteiro da empilhadeira com 2 rodas, a área de contato dos pneus(A) é:

$$A = P/(n*q) = 24,5 \text{ kN}/1750 \text{ kPa} = 0,014 \text{ m}^2.$$

Considerando área quadrada, cada lado deverá ter 12 cm. ( $L=W=12 \text{ cm}$ )

Os valores de A e S (em mm) foram obtidos consultando catálogo do fabricante (empilhadeira Hyster).

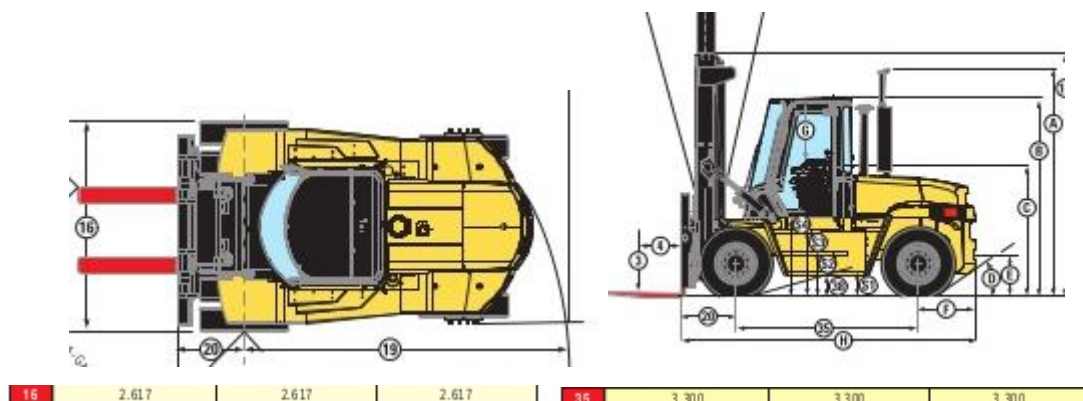


Figura 66 -Detalhes de medidas da empilhadeira. Fonte: Hyster (2017)

O valor de A foi obtido fazendo  $2617 - 2 * 60 = 2497 \text{ mm}$

O valor de S é a própria distância entre os eixos= 3300 mm

Posições da carga na placa:

Borda esquerda

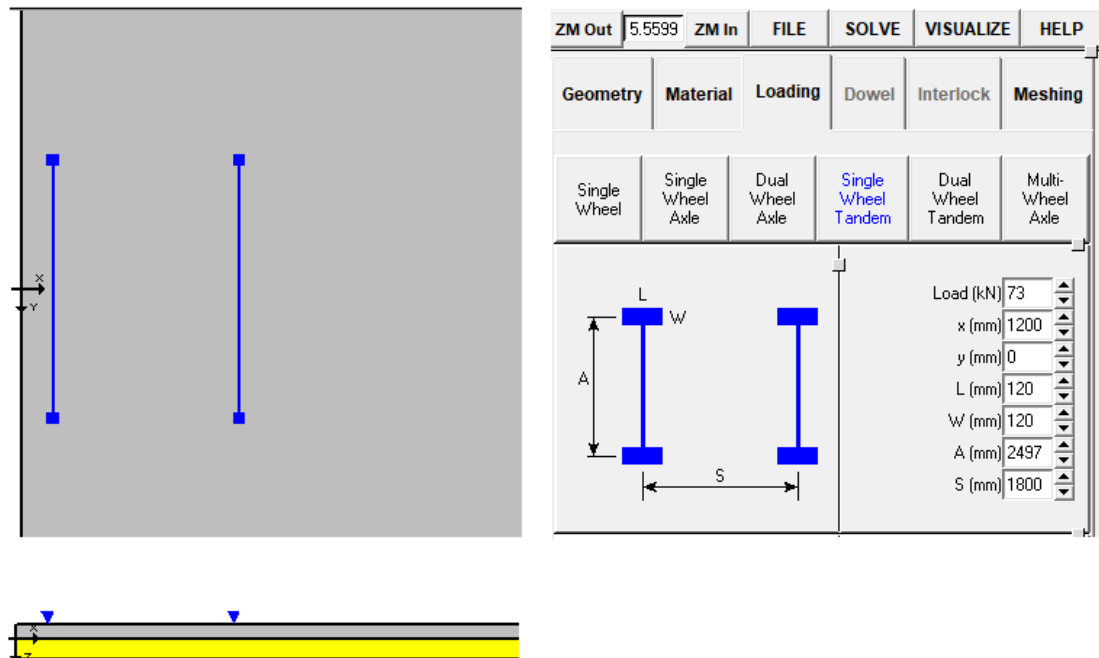


Figura 67 - Posicionamento da carga na placa

Malha

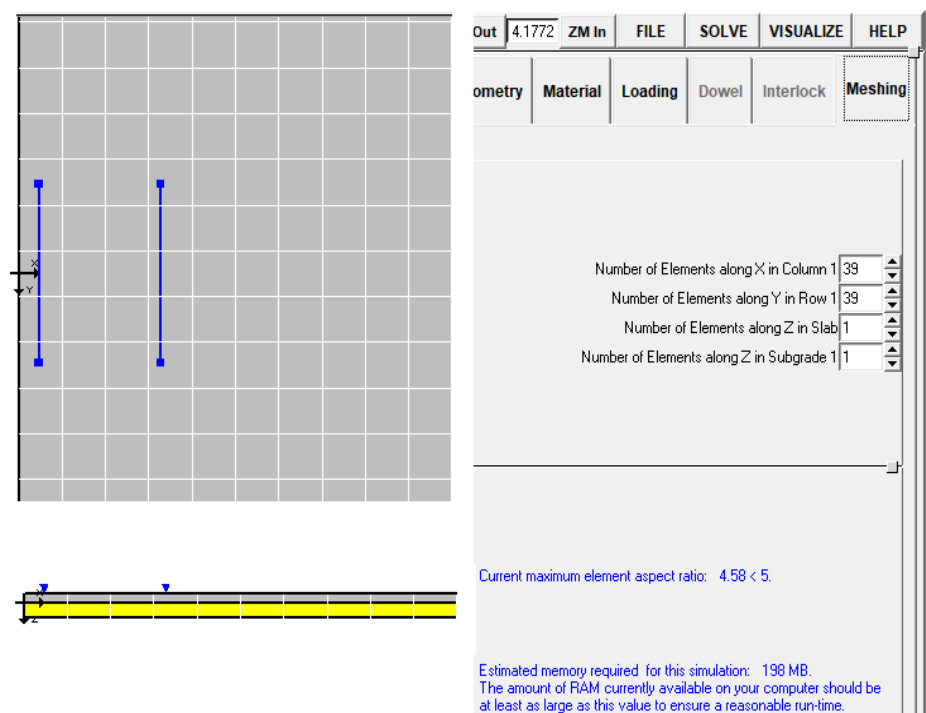


Figura 68 - Malha utilizada



A malha foi gerada de modo a garantir que o tempo de execução e o esforço computacional fossem compatíveis com os computadores disponíveis para o grupo.

- Resultados

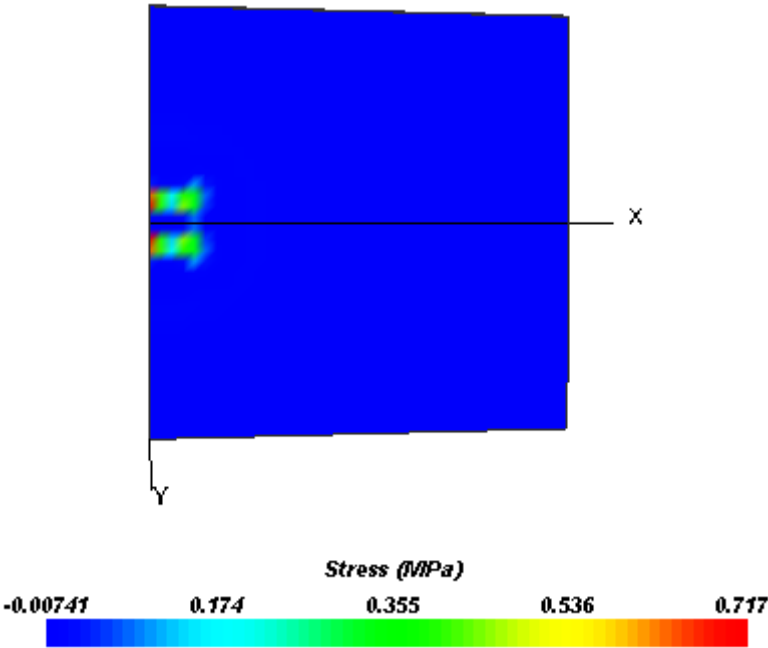


Figura 69 - Curva de isotensão no topo da placa

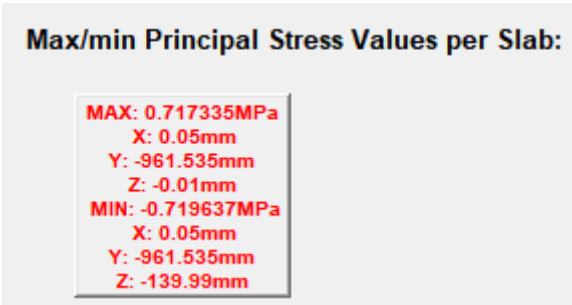


Figura 70 -Tensões máximas e mínimas na placa

Meio

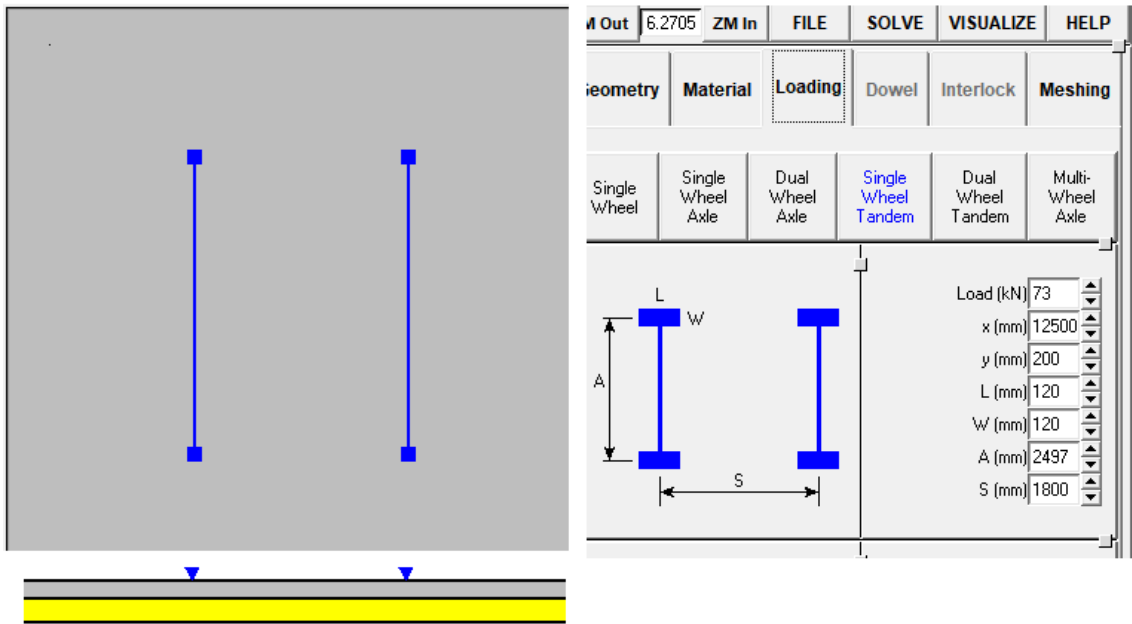


Figura 71 - Posicionamento da carga na placa

- Malha

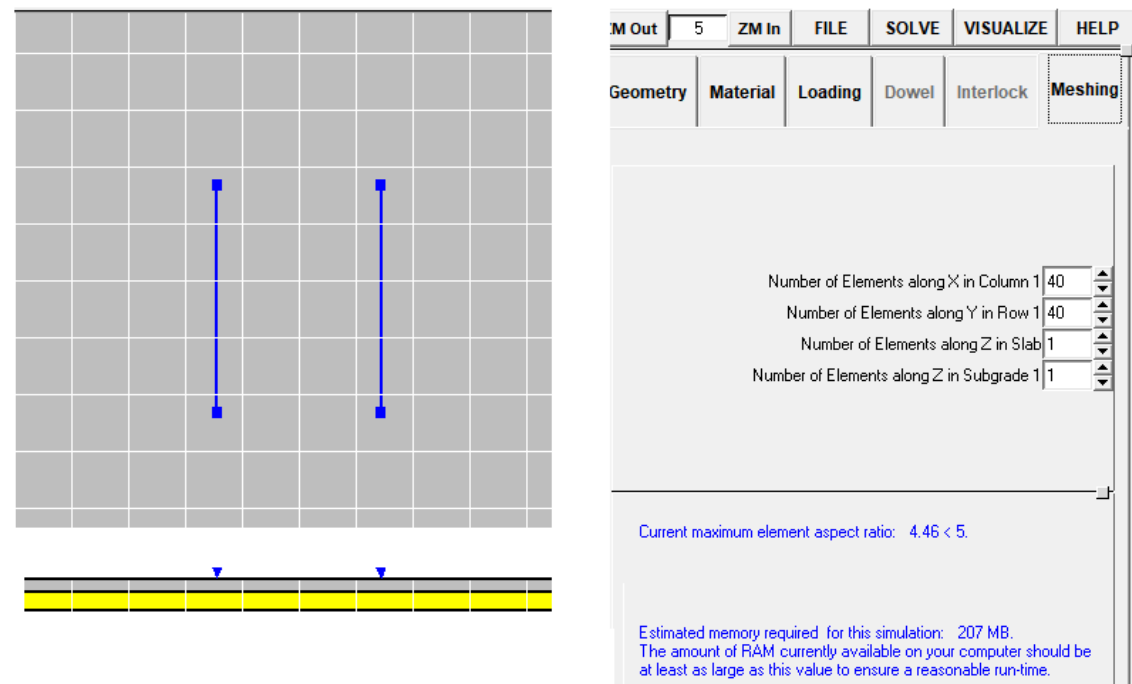


Figura 72 - Malha utilizada

- Resultados

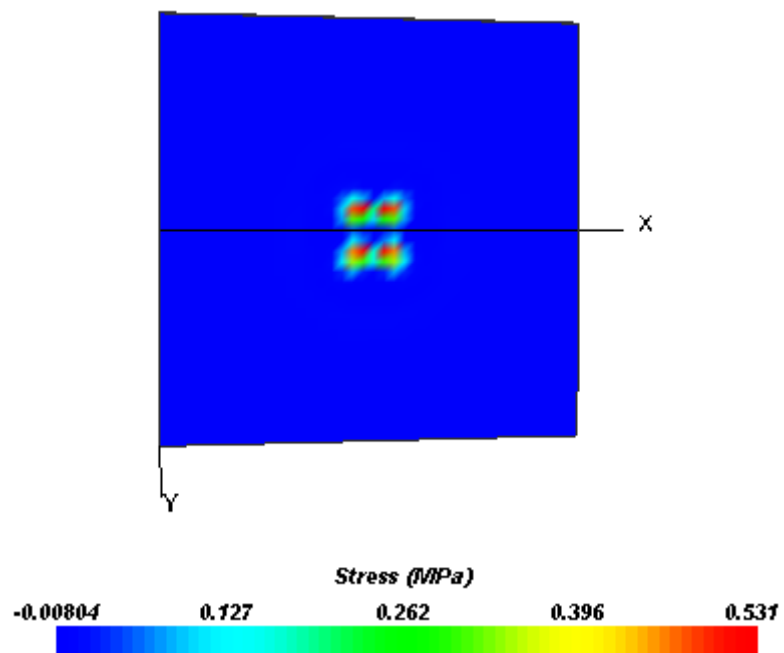


Figura 73 - Curva de isotensão no fundo da placa

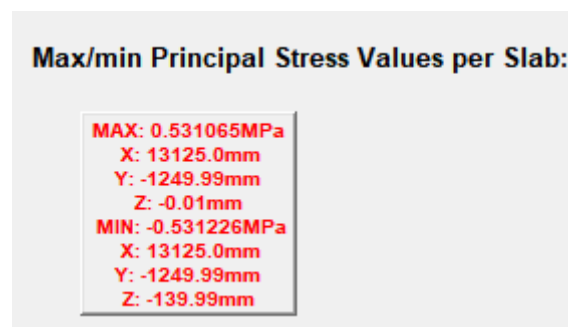


Figura 74 - Tensões máximas e mínimas na placa

Canto

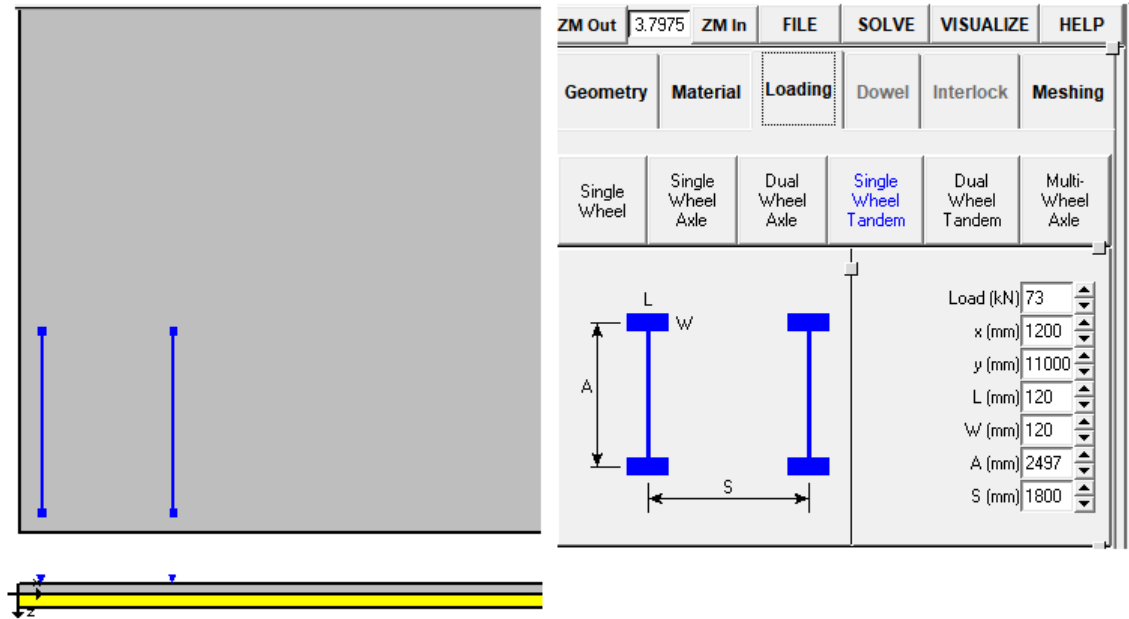


Figura 75 - -Posicionamento da carga na placa

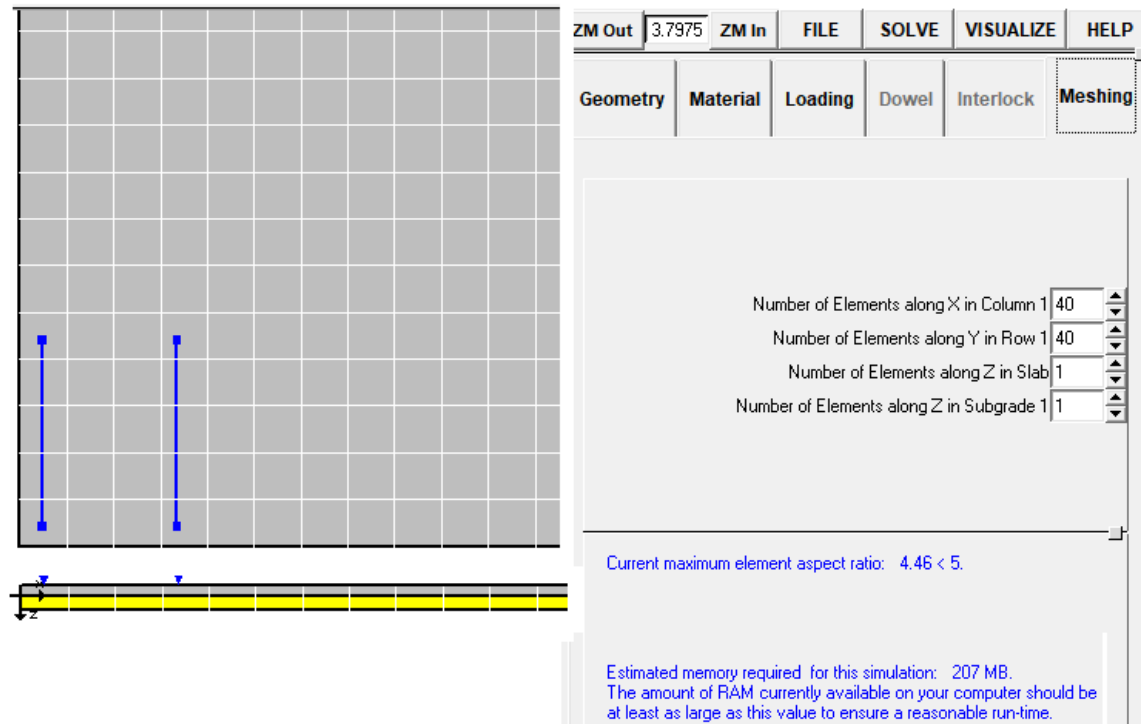


Figura 76 - Malha utilizada

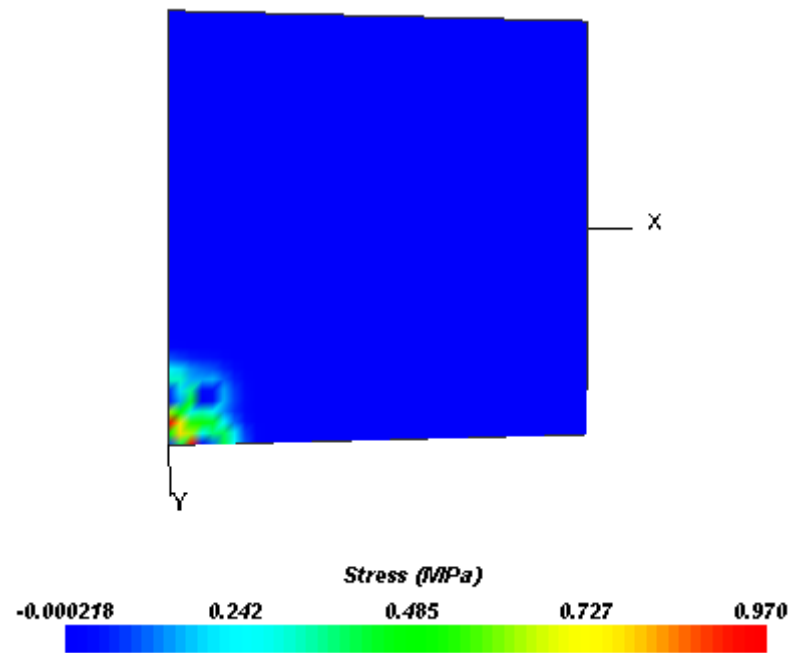


Figura 77 - Curva de isotensão no topo da placa

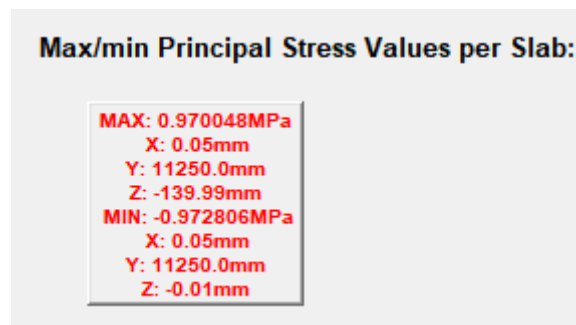


Figura 78 - Tensões máximas e mínimas na placa

## Borda Central

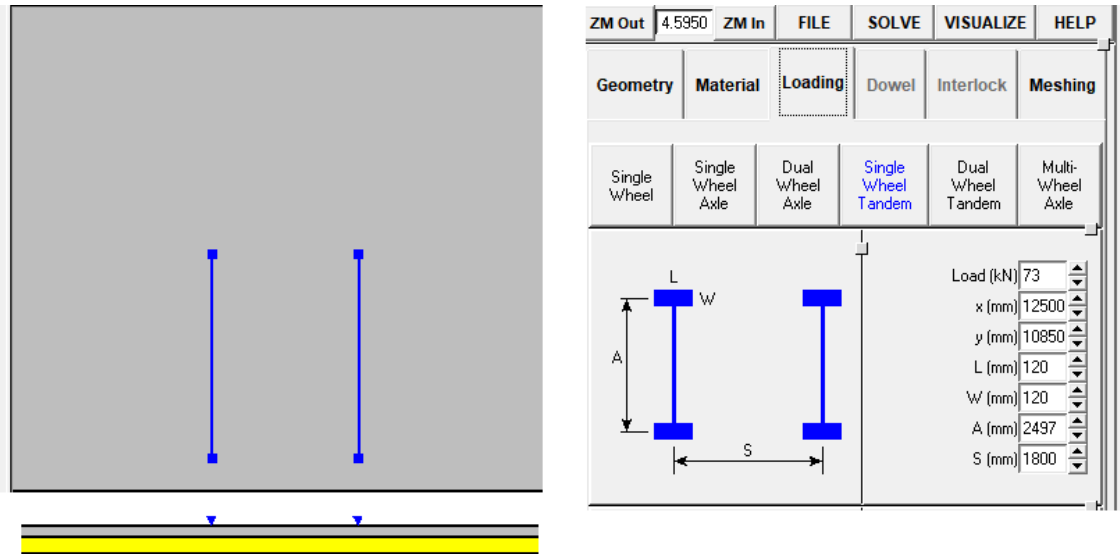


Figura 79 - Posicionamento da carga na placa

## -Malha

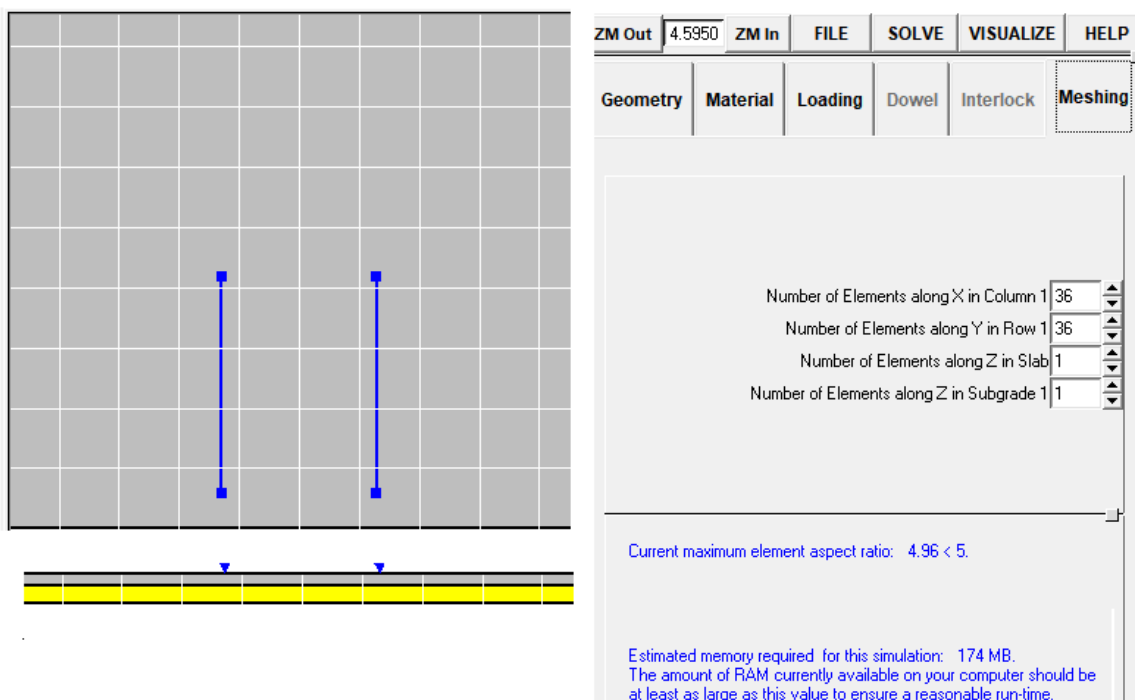


Figura 80 - Malha utilizada

-Resultados

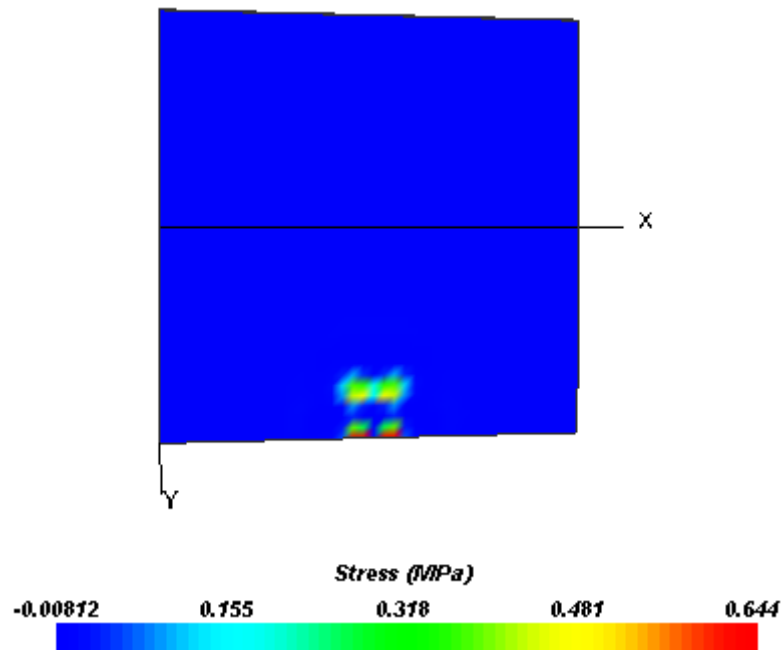


Figura 81 - Curva de isotensão no topo da placa

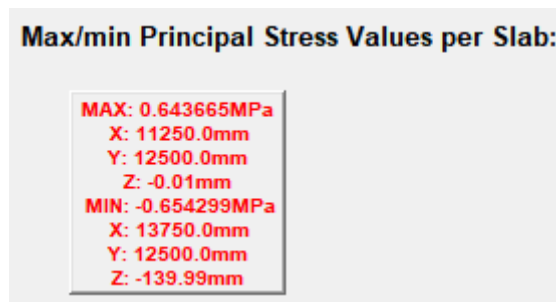


Figura 82 - Tensões máximas e mínimas na placa

Carga Porta Pallet

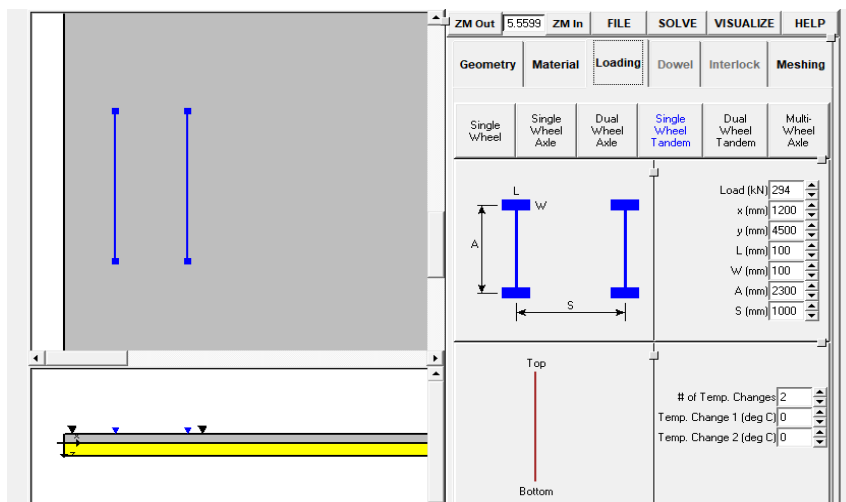


Figura 83 - Carga representativa do porta pallet no Everfe

A carga fornecida para o grupo foi 5tf/apoio para porta pallets. Como há 4 apoios, considera-se 20 tf e coeficiente de majoração conforme explicado a seguir, o que resulta  $20\text{tf} \cdot 9,8 \text{ kN/tf} \cdot 1,5 = 294 \text{ kN}$ . Esse coeficiente, segundo Rodrigues, Faria e Silva (2015, p.68),” para ações permanentes (ex: apoio de mezaninos) vale 1,5”.

O projetista informou ao grupo que a condição crítica para o dimensionamento é considerar área de apoio 10 x 10 cm. Além disso, considerou-se a especificação do fabricante abaixo para a modelagem no Everfe.



**PORTA PALETES INICIAL  
A3.00XL2.30XP1.00**

*Figura 84 - Detalhe do porta pallet. Fonte: Loja Easy Toque*



Posições da carga na placa:

Borda esquerda

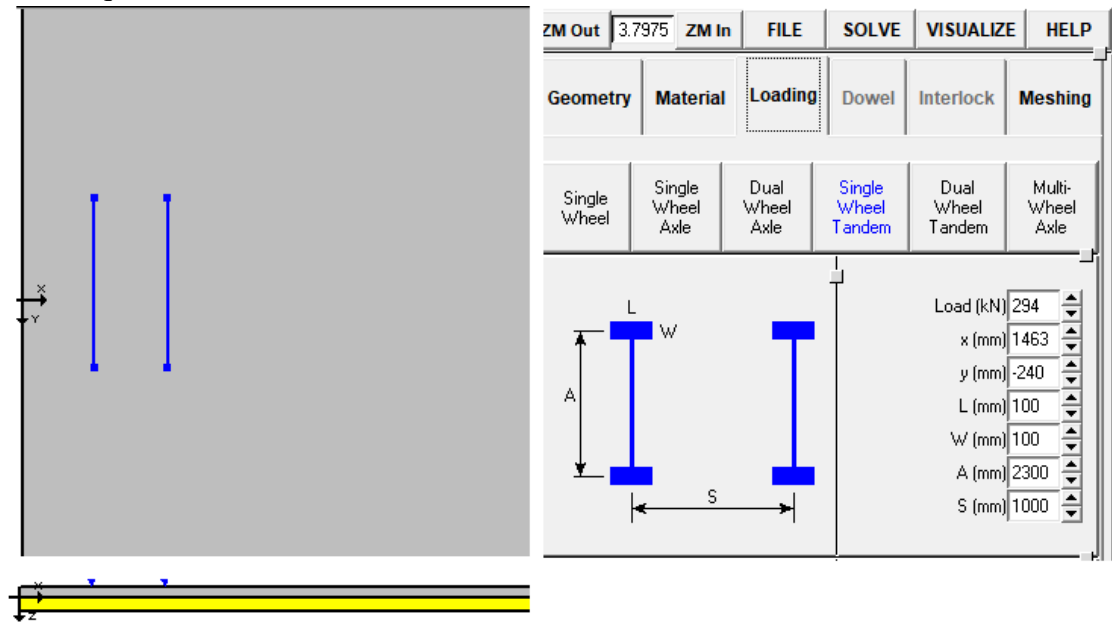


Figura 85 - Posicionamento da carga na placa

- Malha

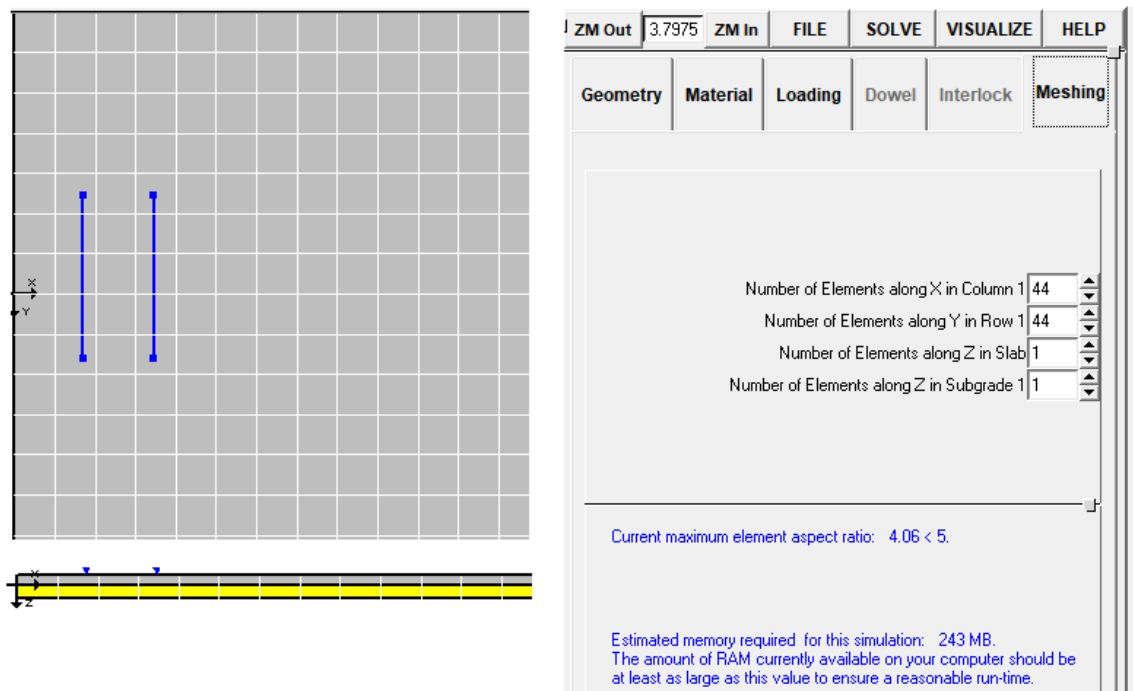


Figura 86 - Malha utilizada

A exemplo do ocorrido para a carga de empilhadeira, a malha foi gerada de modo a garantir que o tempo de execução e o esforço computacional fossem compatíveis com os computadores disponíveis para o grupo.

Resultados

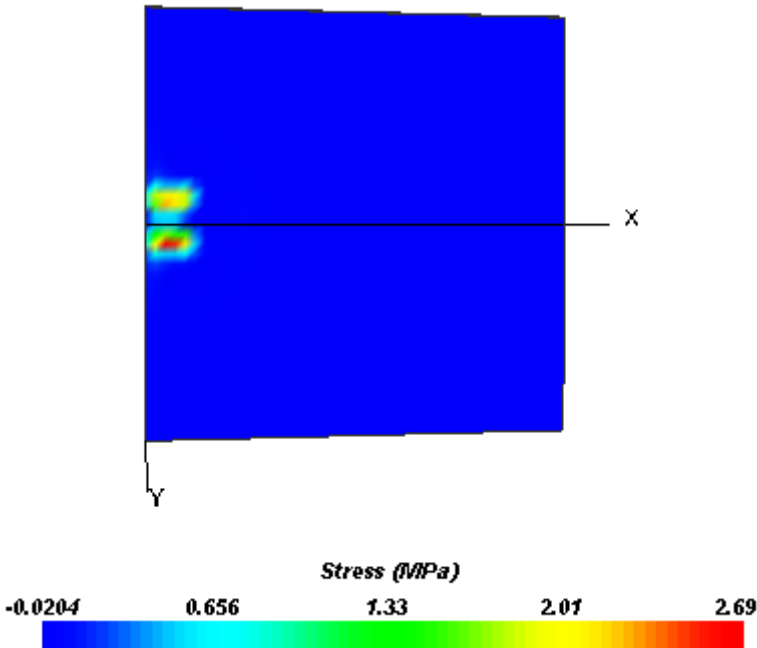


Figura 87 - Curva de isotensão no topo da placa

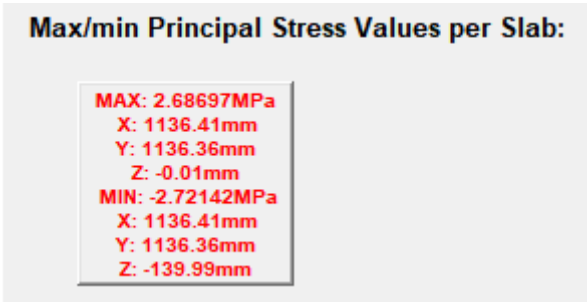


Figura 88 - Tensões máximas e mínimas na placa

Meio

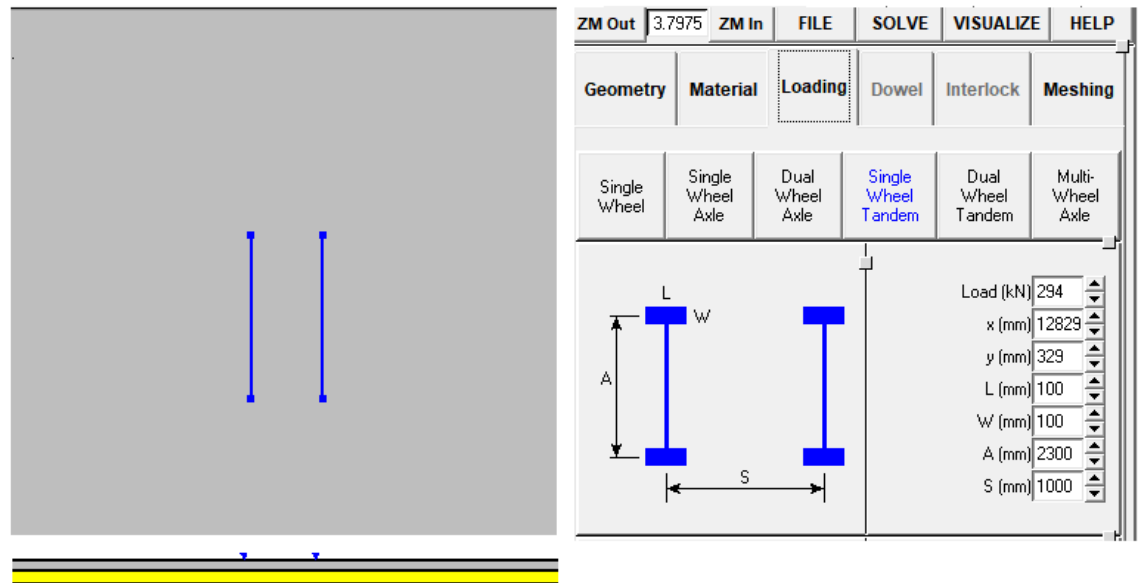


Figura 89 - Posicionamento da carga na placa

-Malha

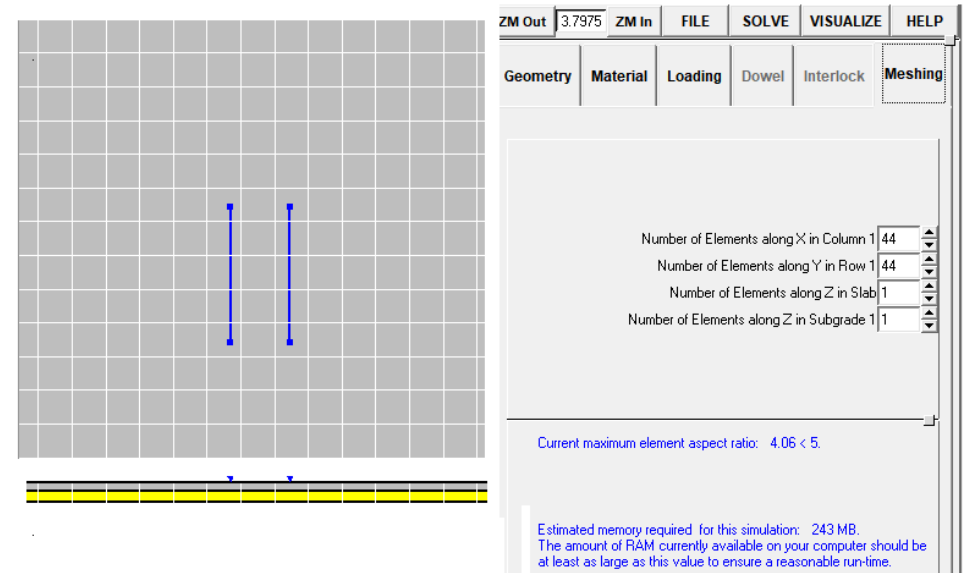


Figura 90 - Malha utilizada

Resultados

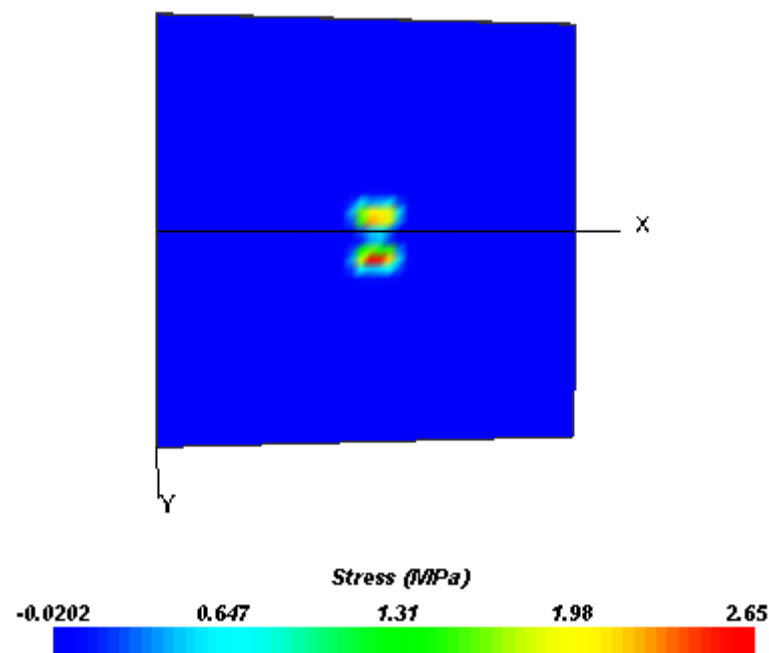


Figura 91 - Curva de isotensão no fundo da placa

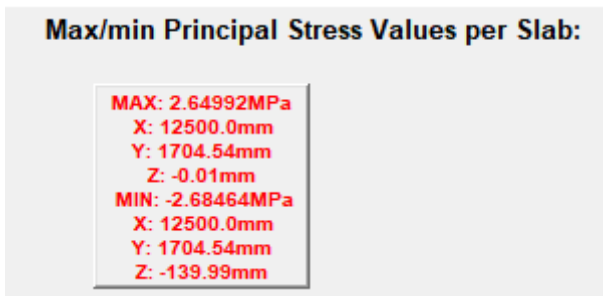


Figura 92 - Tensões máximas e mínimas na placa

Canto

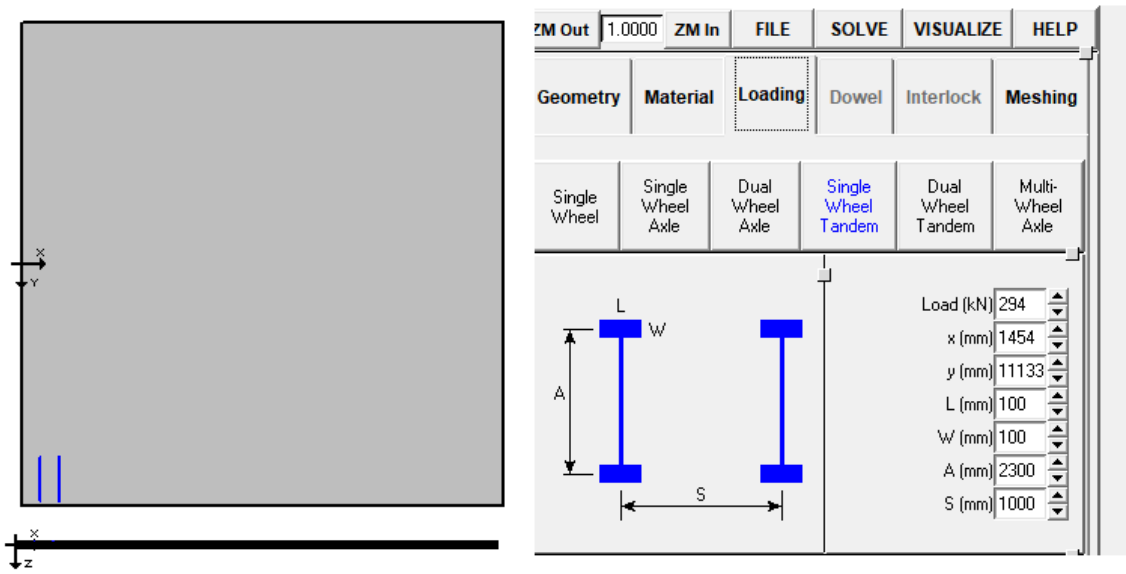


Figura 93 - Posicionamento da carga na placa

-Malha

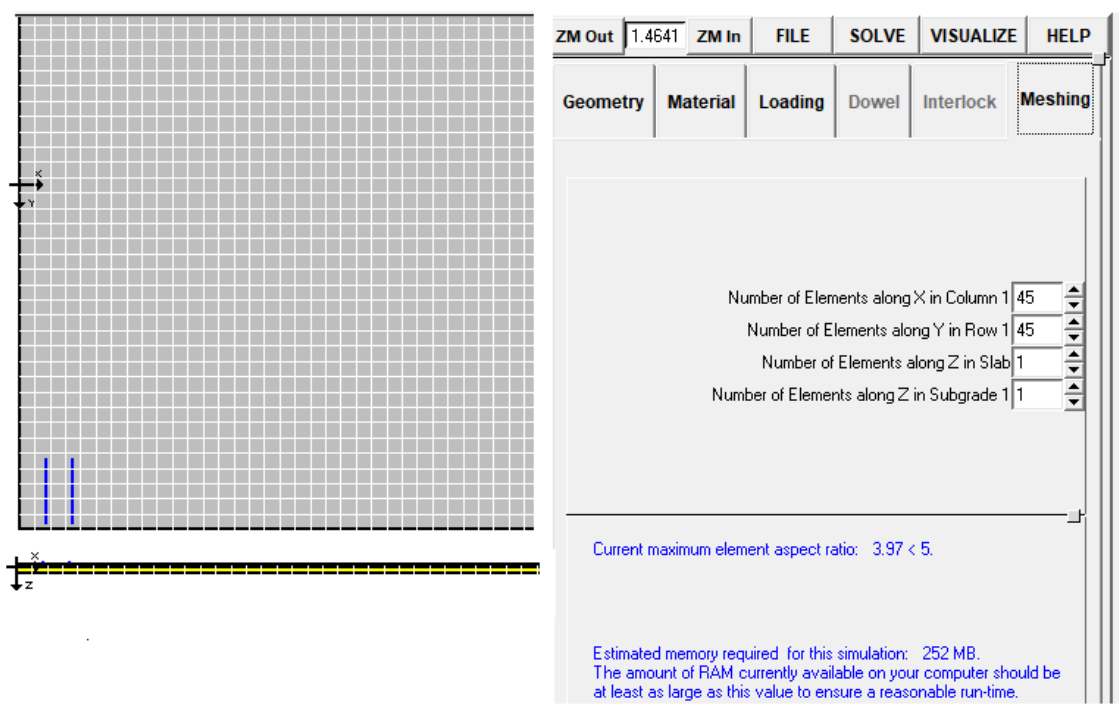


Figura 94 - Malha utilizada

-Resultados

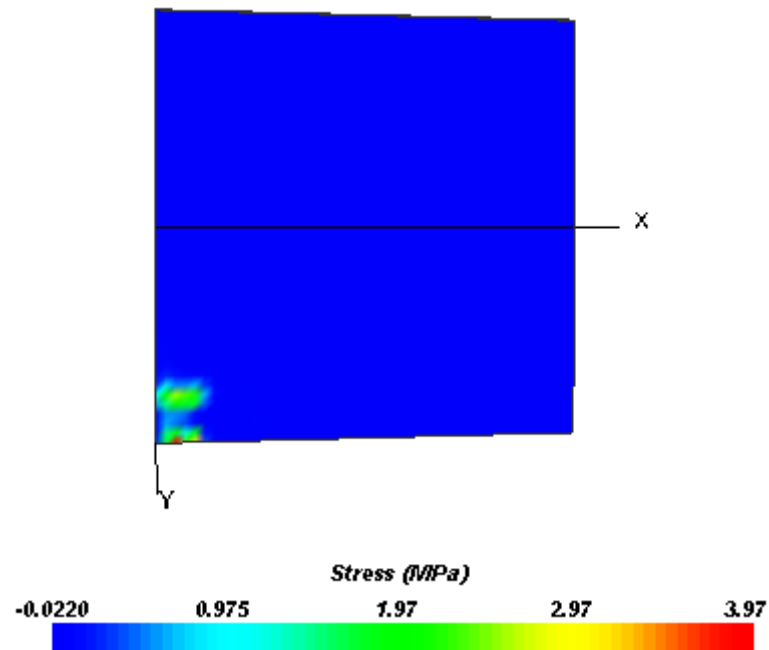


Figura 95 - Curva de isotensão no topo da placa

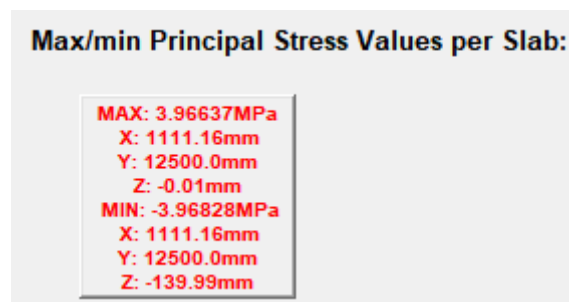


Figura 96 - Tensões máximas e mínimas na placa



## Borda central

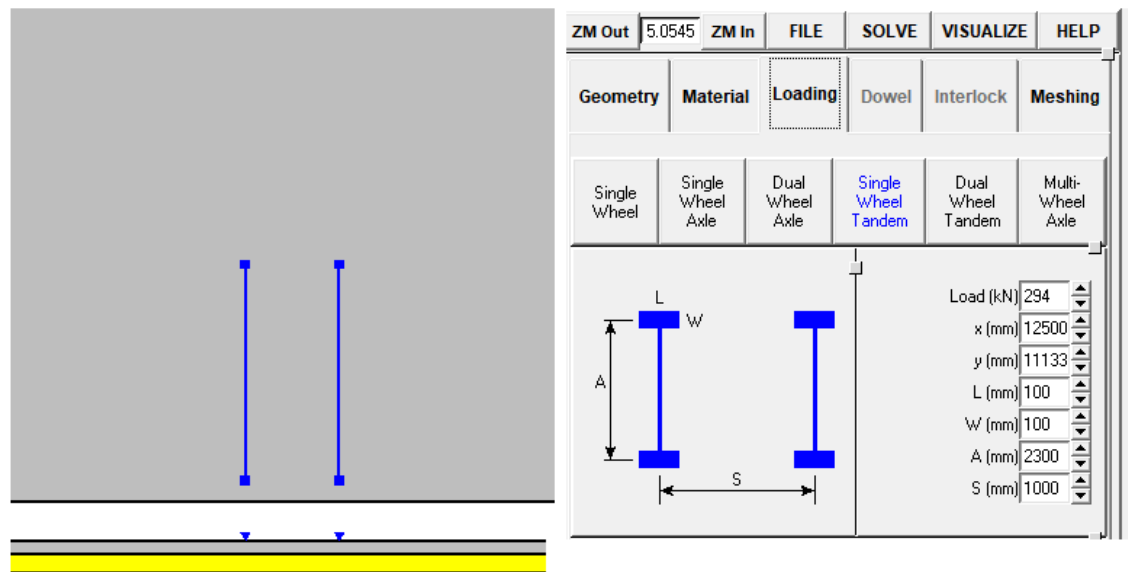


Figura 97 - Posicionamento da carga na placa

## -Malha

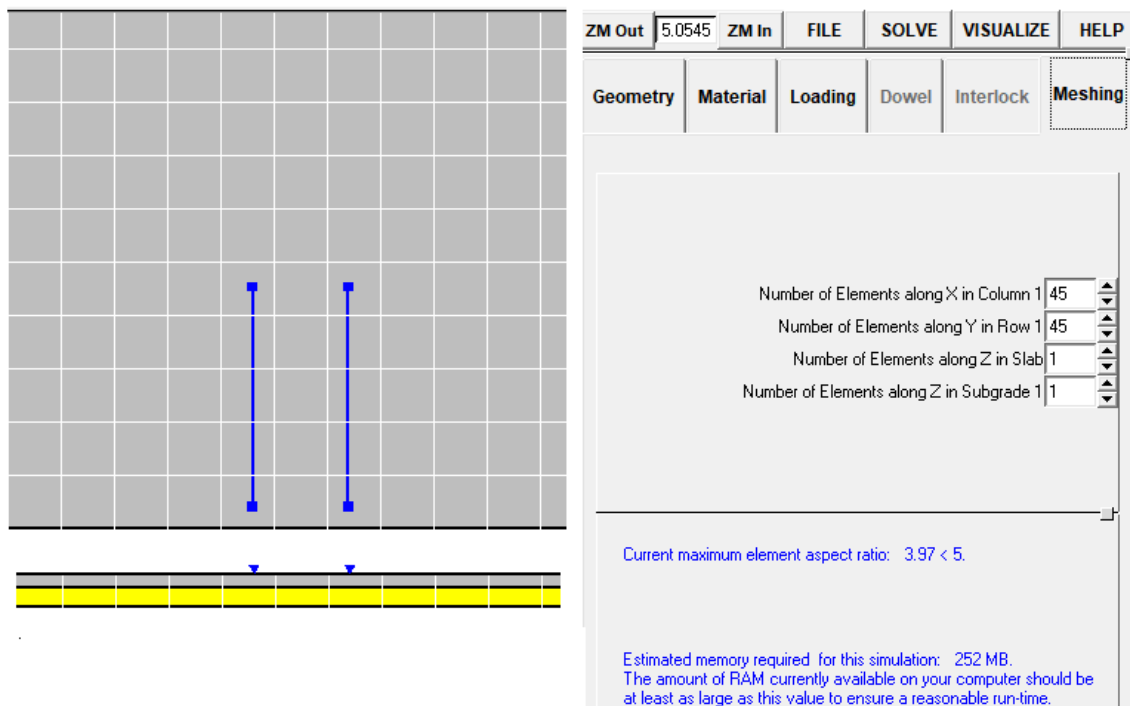


Figura 98 - Malha utilizada

## -Resultados

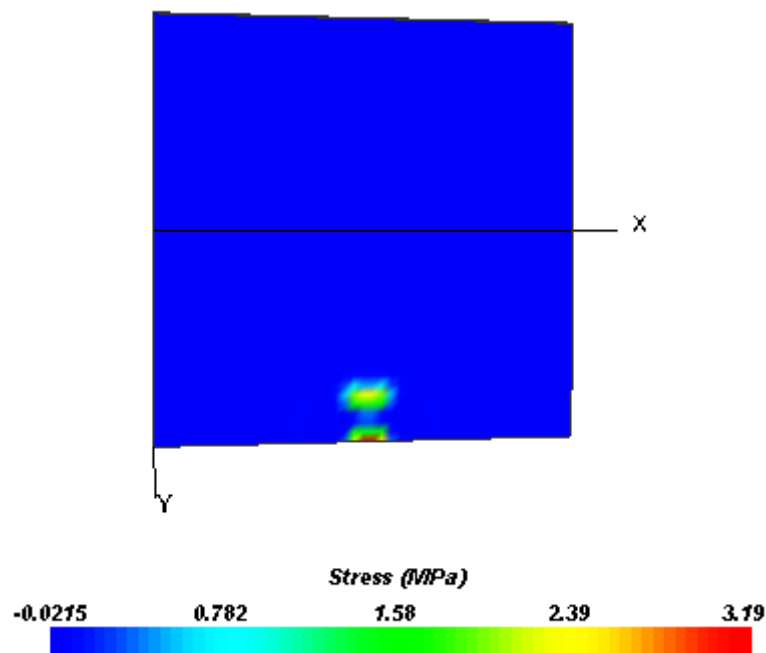


Figura 99 - Curva de isotensão no topo da placa

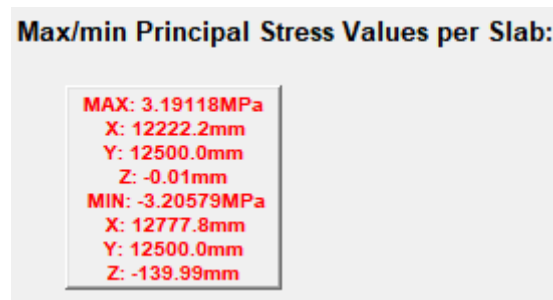


Figura 100 - Tensões máximas e mínimas na placa

## 7.3. DISCUSSÃO PARCIAL DOS RESULTADOS

Tanto para o porta pallet como para a empilhadeira as maiores tensões (tanto de tração como de compressão) ocorrem no canto da placa, o que configura essa região como a crítica para o dimensionamento. As máximas tensões devidas ao porta pallet (tanto de tração como de compressão) têm módulo 3,97 MPa e as máximas tensões devidas à empilhadeira (tanto de tração como de compressão) têm módulo 0,97 MPa.

Dessa forma, foram testadas solicitações conjuntas das cargas de empilhadeira e de porta pallets no canto da placa (já ilustradas acima), a fim de se verificar a tensão máxima solicitante nela.

## 7.4. SIMULAÇÕES DE CARGAS CONJUNTAS

Solicitação 1

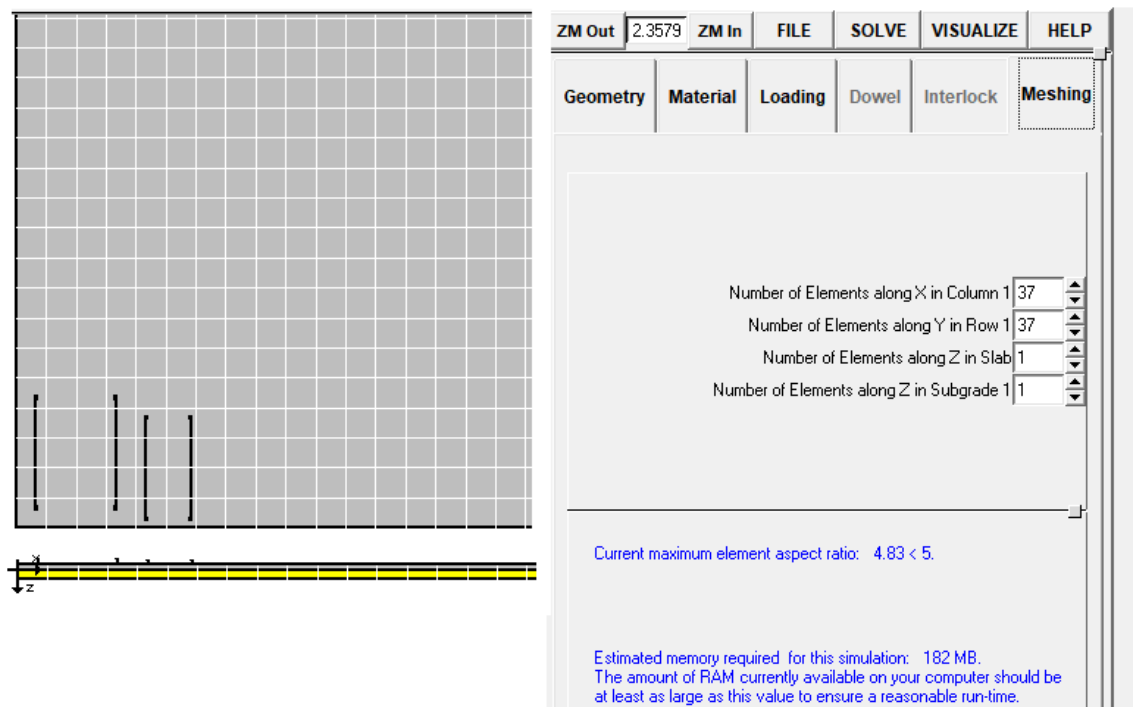


Figura 101 - Malha utilizada

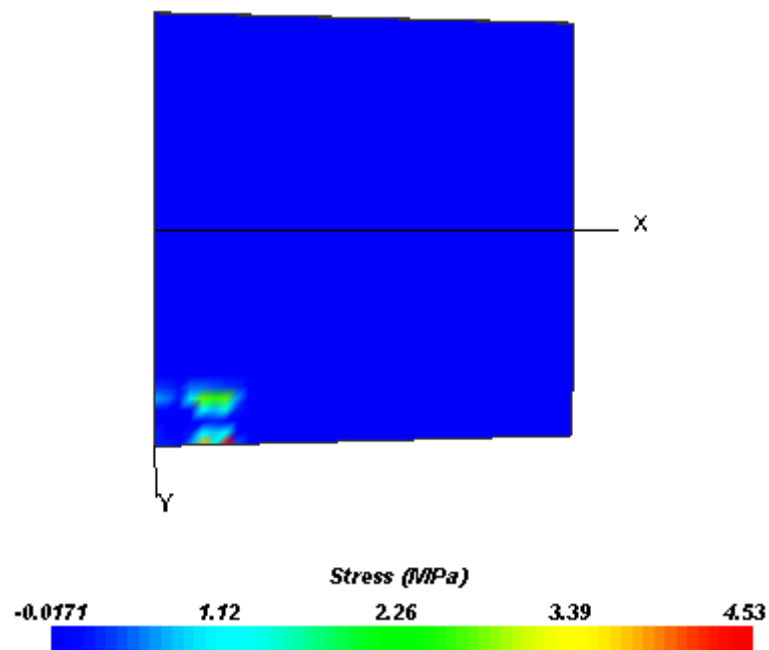


Figura 102 - Curva de isotensão no topo da placa

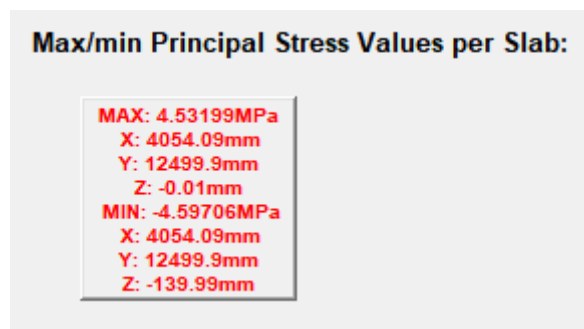


Figura 103 - Tensões máximas e mínimas

## Solicitação 2

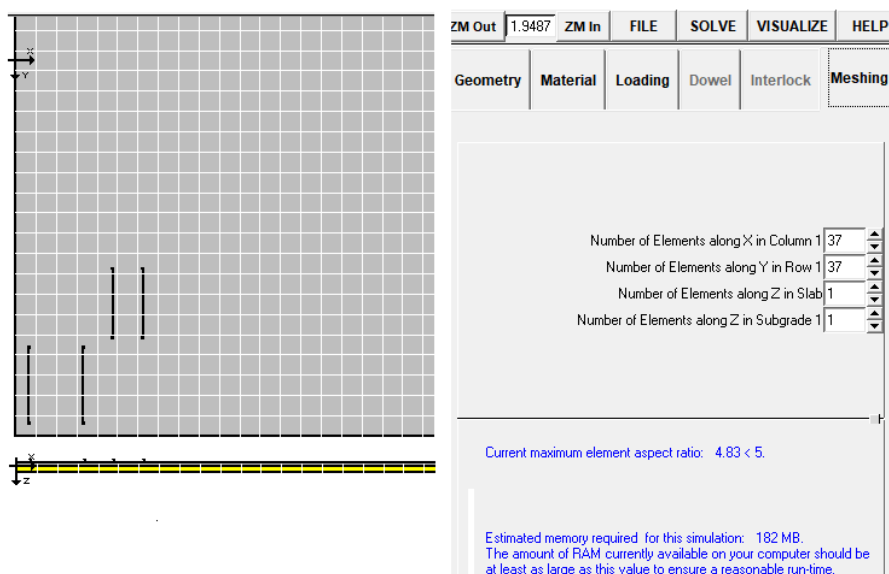


Figura 104 - Malha utilizada

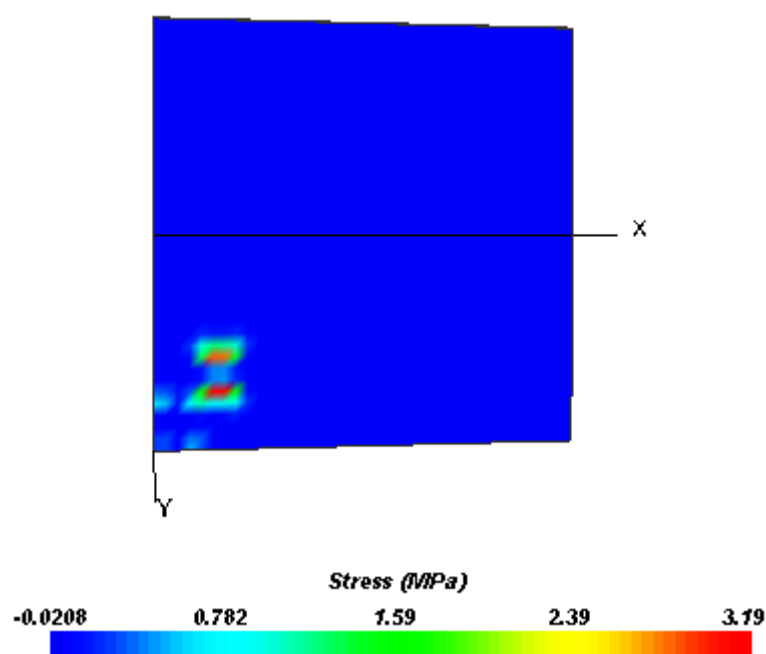


Figura 105 - Curva de isotensão no topo da placa

### Max/min Principal Stress Values per Slab:

**MAX: 3.19206MPa**  
**X: 3378.41mm**  
**Y: 9121.59mm**  
**Z: -0.01mm**  
**MIN: -3.22527MPa**  
**X: 3378.41mm**  
**Y: 9121.59mm**  
**Z: -139.99mm**

Figura 106 - Tensões máximas e mínimas

### Solicitação 3

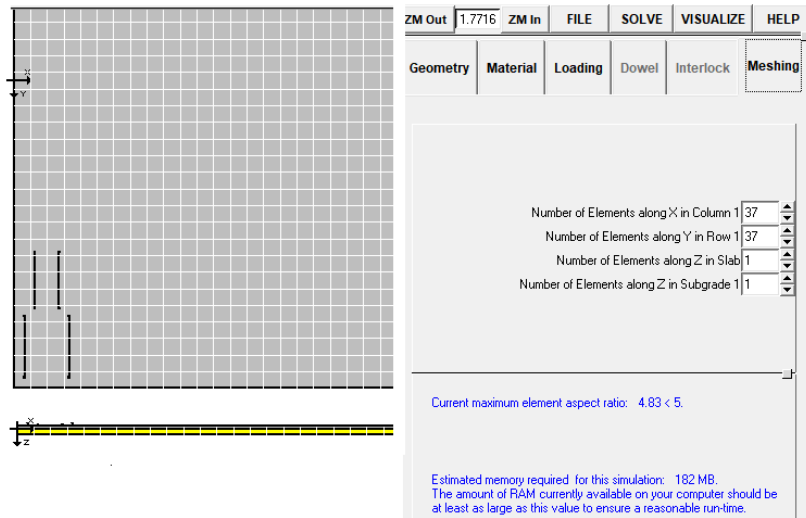


Figura 107 - Malha utilizada

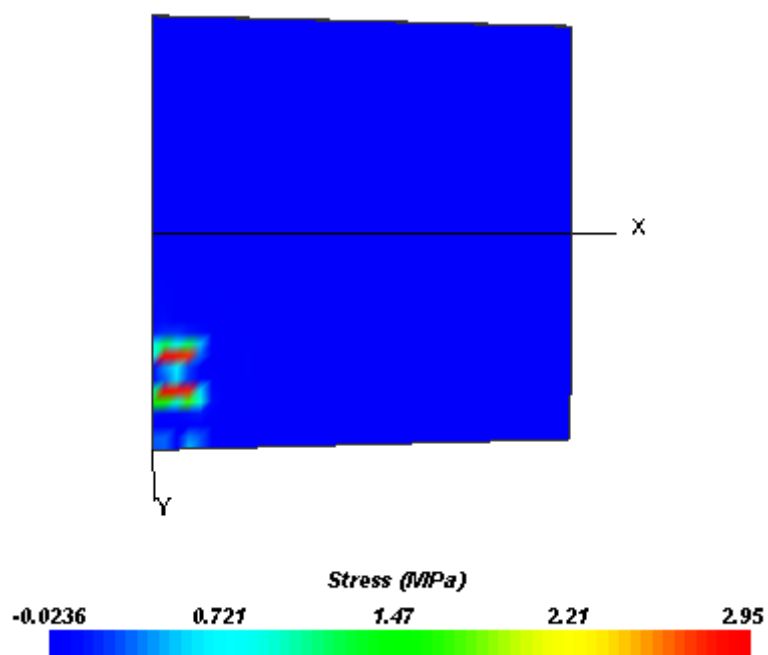


Figura 108 - Curva de isotensão no topo da placa

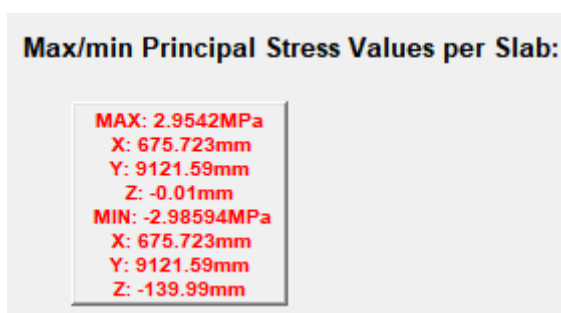


Figura 109 - Tensões máximas e mínimas



#### Solicitação 4

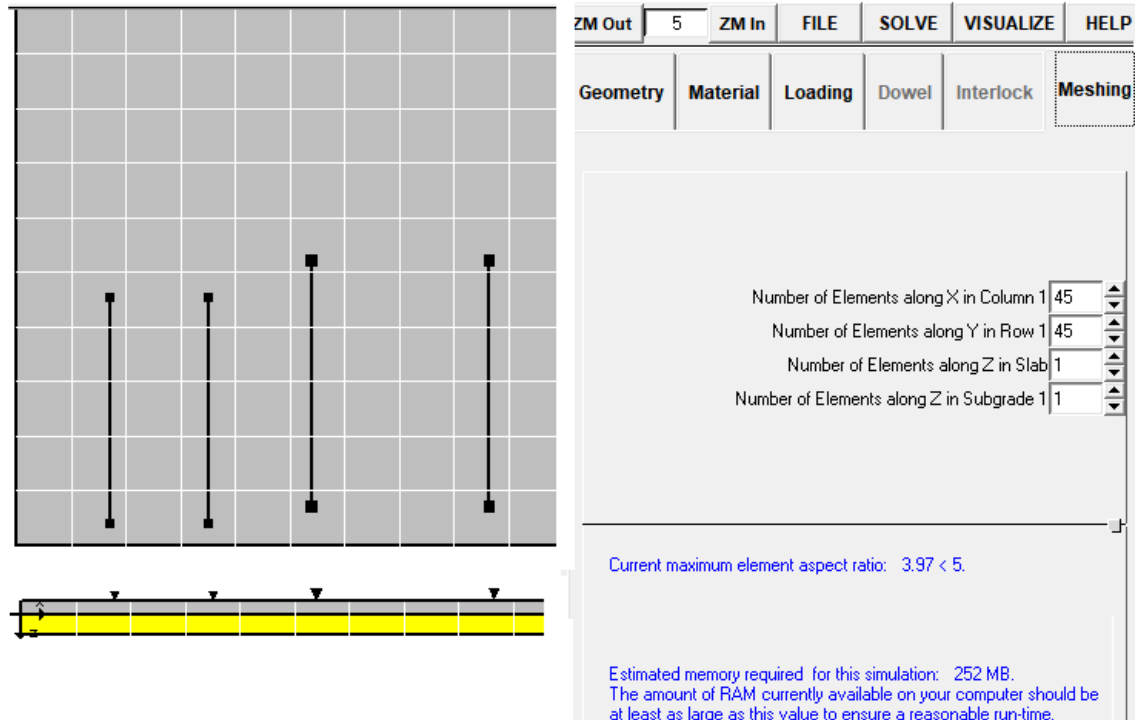


Figura 110 - Malha utilizada

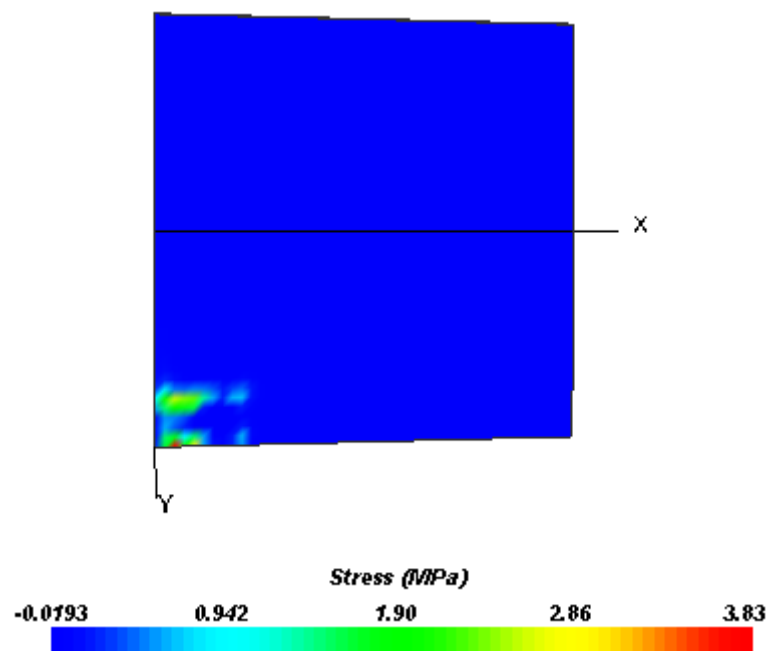


Figura 111 - Curva de isotensão no topo da placa

### Max/min Principal Stress Values per Slab:

**MAX: 3.82552MPa**  
**X: 1111.16mm**  
**Y: 12500.0mm**  
**Z: -0.01mm**  
**MIN: -3.82829MPa**  
**X: 1111.16mm**  
**Y: 12500.0mm**  
**Z: -139.99mm**

Figura 112 - Tensões máximas e mínimas

### Solicitação 5

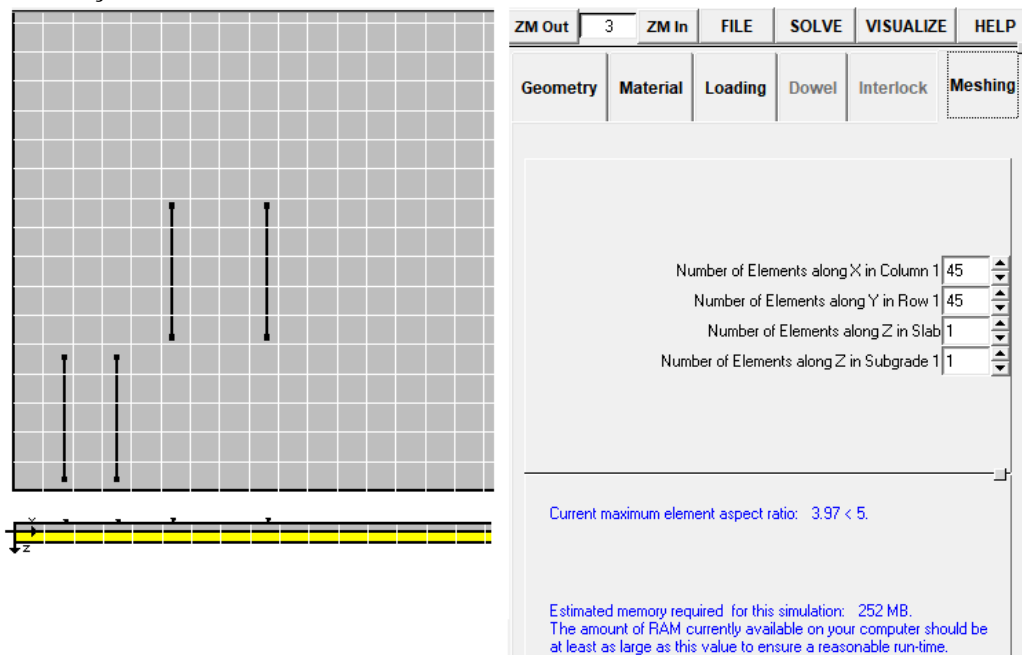


Figura 113 - Malha utilizada

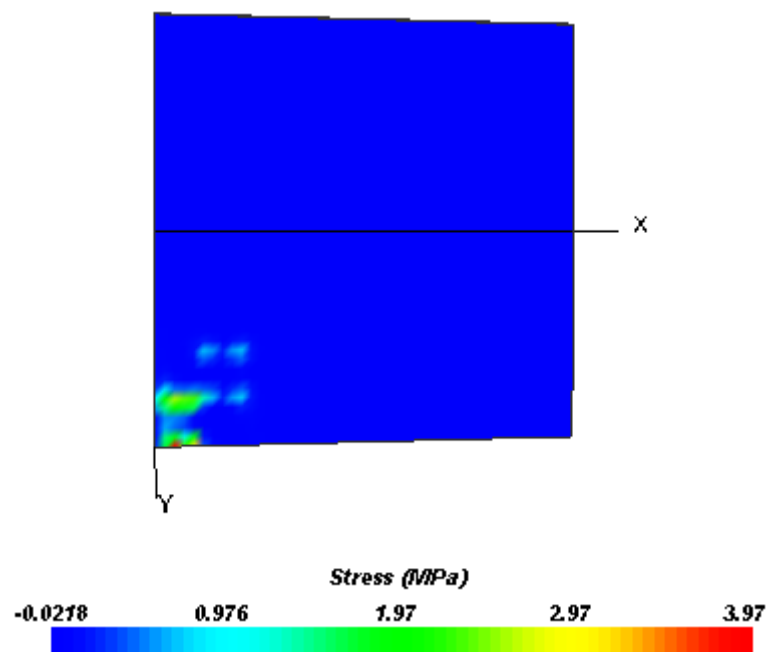


Figura 114 - Curva de isotensão no topo da placa

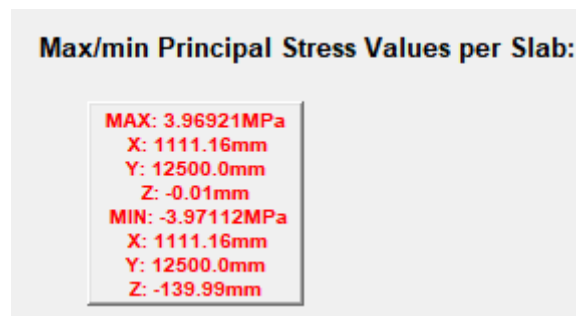


Figura 115 - Tensões máximas e mínimas

## Solicitação 6

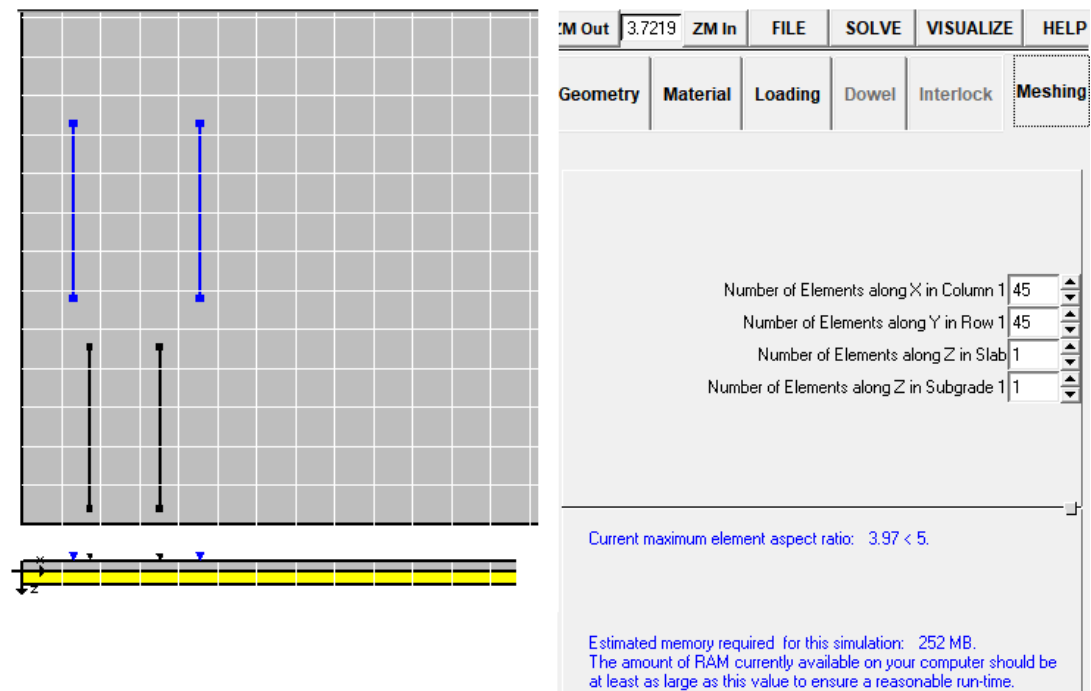


Figura 116 - Malha utilizada

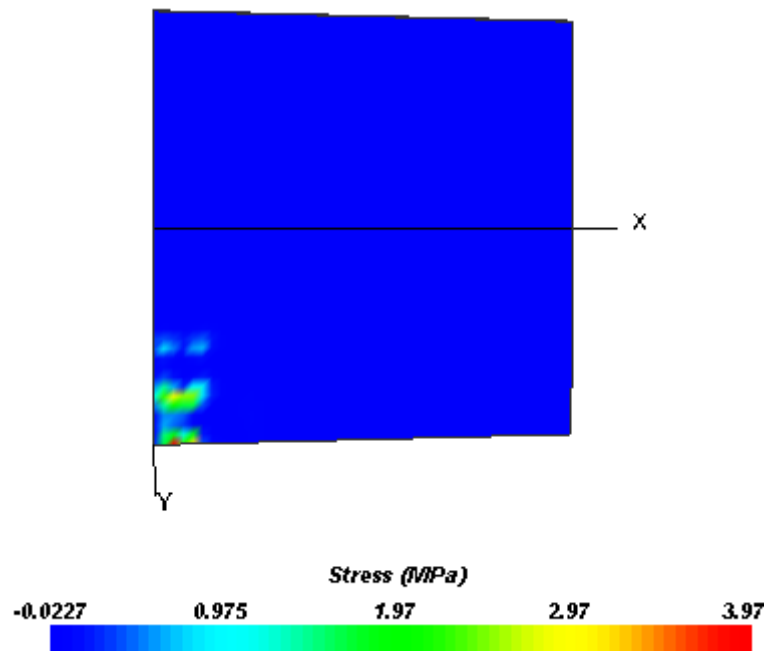


Figura 117 - Curva de isotensão no topo da placa

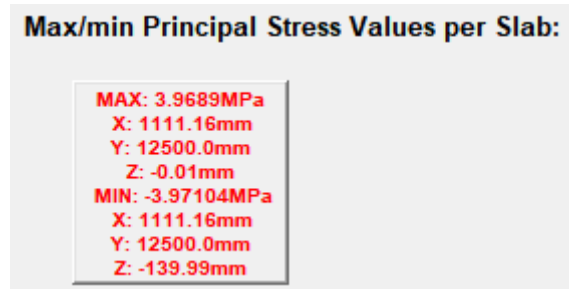


Figura 118 - Tensões máximas e mínimas

### 7.4.1. DISCUSSÃO DAS SOLICITAÇÕES CONJUNTAS

Após a análise das 6 solicitações conjuntas mostradas acima no Everfe, é possível concluir que a crítica é a solicitação 1, pois apresenta a maior tensão de tração na flexão (4,53 MPa) e a maior tensão de compressão (4,60 MPa). O projetista especificou resistência à compressão 30 MPa e resistência à tração na flexão 4,2 MPa.

Tendo em vista o que está exposto acima, é possível inferir que a máxima tensão solicitante de compressão (4,60 MPa) fica muito abaixo da resistência à compressão (30 MPa). No entanto, a máxima tensão solicitante de tração (4,53 MPa) supera a resistência à tração na flexão (4,20 MPa).

Resistência do concreto à tração (MPa)	máxima tensão de tração verificada (MPa)
4,2	4,53

Tabela 1- Comparação de tensões na tração

Resistência do concreto à Compressão(MPa)	máxima tensão de compressão verificada (MPa)
30	4,60

Tabela 2- Comparação de tensões na compressão

Dessa forma, seria necessário aumentar a espessura a fim de que a máxima tensão de tração na flexão não supere a resistência à tração na flexão. O grupo também usou o software Everfe 2.24 a fim de verificar a menor espessura que satisfizesse a condição enunciada anteriormente. O valor encontrado foi 16 cm. Com essa espessura, a máxima tensão de tração é 3,83 MPa (menor que a resistência do concreto à tração) e a máxima tensão de compressão é 3,90 MPa (menor que a resistência do concreto à compressão).

The image shows the 'Geometry' tab of the Everfe 2.24 software. It is divided into two main sections: 'Slab Layout' and 'Base and Subgrade'. In the 'Slab Layout' section, the '1 row; 1 column' option is selected. To the right, there are input fields for 'Column 1 Length (X mm)' (25000), 'Row 1 Width (Y mm)' (25000), 'Slab Thickness (Z mm)' (160), 'First Skew Angle (deg)' (0), and 'Second Skew Angle (deg)' (0). In the 'Base and Subgrade' section, the 'No Layer' option is selected.

Figura 119 - Alteração da espessura no modelo

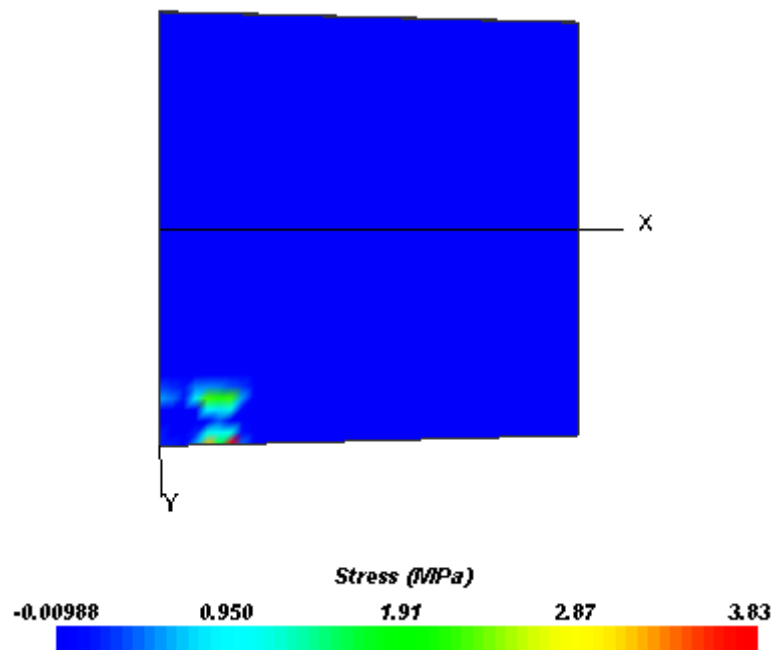


Figura 120 - Curva de isotensão no topo da placa

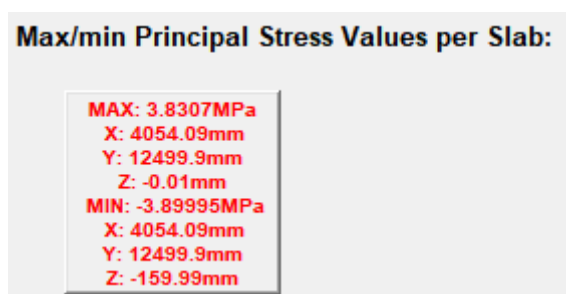


Figura 121- Tensões máximas e mínimas

## 7.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise exposta, percebe-se a importância de ter informações sobre o projeto e a execução, entender a conexão entre eles e avaliar, por meio de simulações computacionais se a escolha realizada pela projetista foi a mais eficiente

No presente capítulo foi realizada a análise crítica do projeto por meio do software Everfe. Os dados fornecidos pelo projetista foram inseridos no programa e posteriormente seus resultados foram avaliados. Percebeu-se que a espessura de 14 cm da placa leva a tensões de tração no concreto maiores que sua resistência, o que poderia acarretar ruptura da placa. Além disso, verificou-se que a espessura da placa necessária para que as tensões de tração fossem menores do que a resistência do concreto à tração na flexão é 16 cm.



## 8. CONCLUSÃO

Este estudo pautou-se na análise crítica do pavimento de concreto armado com fibras, acompanhando um caso prático de sua execução e analisando o mesmo criticamente. Deste modo, pode-se concluir que o principal valor do concreto com fibras é aumentar a tenacidade à fratura pós-pico.

Possuindo economia de material e dinheiro, as fibras não precisam de detalhamento de armadura, o que enxuta o projeto e facilita a execução, economizando, também, em mão de obra. Por outro lado, apresentam difícil controle tecnológico, pois é necessário controlar a densidade das fibras no concreto, e seu uso se torna válido apenas em obras com um maior investimento inicial devido à complexidade e preço da tecnologia.

Além disso, foi possível avaliar a execução do mesmo, bem como o produto final, que foi o encontrado através de visitas em campo. O estudo do projeto, analisando o método escolhido pela projetista, suas premissas para simplificação de cálculo, juntamente com o acompanhamento da execução em campo facilita o entendimento do produto e proporciona fundamento para uma análise crítica, embora a projetista não tenha disponibilizado a memória de cálculo ao grupo. Ao analisar criticamente o projeto, chega-se à conclusão de que há métodos de dimensionamento mais modernos e eficientes do que o usado. A modelagem possibilita a visualização do carregamento da placa perante a situação de projeto e fornece a opção de buscarmos uma solução mais eficiente.

Com os dados já descritos, pode-se simular através do software Everfe a reação causada na placa diante da atuação das cargas presentes. Com isso, foi possível analisar se o projeto foi realizado corretamente ou não, levando-se em consideração tensões solicitantes e tensões admissíveis. Nesse sentido, a espessura de 14 cm da placa especificada pelo projetista pode provocar a ruptura da placa. A fim de que isso fosse evitado, a espessura necessária da placa deveria ser 16 cm.

É necessário pontuar que a análise realizada tem a limitação de não considerar as barras de transferência. Para trabalhos futuros recomenda-se considerá-las na modelagem do software Everfe. Elas estão presentes no piso executado, embora não sejam abordadas no método de Meyerhof (utilizado pelo projetista durante o dimensionamento). Com a adição das barras de transferência ao modelo, a situação representará o que de fato existe no galpão.

## **9. RECOMENDAÇÕES FINAIS**

Para trabalhos futuros recomenda-se considerar as barras de transferência na modelagem do software Everfe. Elas estão presentes no piso executado, embora não sejam abordadas no método de Meyerhof (utilizado pelo projetista durante o dimensionamento). Com a adição das barras de transferência ao modelo, a situação representará o que de fato existe no galpão.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. 1ª reimpressão. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto Reforçado com Fibras**. Tese de livre docência, 2011.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto – Ciência e Tecnologia**. Capítulo 37, 2016.

NOTÍCIAS DE CAJAMAR. **Destaque Regional**, 2019. Página Inicial. Disponível em < <https://cajamarnoticias.com/> > Acesso em: 20 de jun. de 2019

GLP CAJAMAR. **GLP**, 2019. Disponível em: <<http://www.glprop.com.br/locacao/glp-cajamar>> Acesso em: 20 de jun. de 2019

RODRIGUES, Públio Penna Firme; FARIA, Breno Macedo; SILVA, João Batista da. Novos critérios para pavimentos industriais de concreto armado. **IBTS**, 2015. Disponível em: <[http://www.ibts.org.br/pdfs/manual\\_completo\\_final\\_grafica.pdf](http://www.ibts.org.br/pdfs/manual_completo_final_grafica.pdf)> Acesso em: 21 de jun. de 2019

Norma DNIT061-2004 (Pavimento Rígido-Defeitos-Terminologia). **IPR**, 2004. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit061\\_2004\\_ter.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit061_2004_ter.pdf) > Acesso em 20 de jun. de 2019

CONTROLE TECNOLÓGICO E CONTROLE DE QUALIDADE – UM ALERTA SOBRE SUA IMPORTÂNCIA. **ABENGE, Associação Brasileira em Educação em Engenharia**, 2004. Disponível em <[http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/08\\_656.pdf](http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/08_656.pdf)>. Acesso em: 29 de jun. de 2020.

Porta Pallet. **Easy Toque**, 2020. Disponível em: <[https://loja.easytoque.com.br/porta-paletes/porta-paletes-inicial-a3-00x12-30xp1-00-4-niveis-500-kg?parceiro=9290&gclid=EAIaIQobChMInpHx59Ci5wIVBQSRCh3Q3AyyEAYYAIA BEgIdpPD\\_BwE](https://loja.easytoque.com.br/porta-paletes/porta-paletes-inicial-a3-00x12-30xp1-00-4-niveis-500-kg?parceiro=9290&gclid=EAIaIQobChMInpHx59Ci5wIVBQSRCh3Q3AyyEAYYAIA BEgIdpPD_BwE)> Acesso em: 23 de jan. de 2020

ANDRADE, Daniel. Folheto de especificação. **Slideshare**, 2017. Disponível em:<<https://pt.slideshare.net/danielescavadeira/folheto-de-especificacao-empilhadeira-hyster-h210360hd>> Acesso em: 26 de jan. de 2020

DAVIDS, Bill. EverFe Theory Manual. **Semanticscholar**, 2003. Disponível em:<<https://pdfs.semanticscholar.org/4451/f7793a5cc968cbb290574d1b7c22a06f8723.pdf>> Acesso em: 30 de jan. de 2020

## **APÊNDICE A – CONFORMIDADES E NÃO-CONFORMIDADES NORMATIVAS**

Conforme preconiza a Norma DNIT 060/2004-PRO, o grupo realizou inspeção visual no sistema de pisos de concreto estudado. Na ocasião, foram levantados defeitos típicos visíveis, tendo-se como base a Norma DNIT 061/2004-PRO (já ilustrada na presente monografia). A inspeção foi feita durante o período diurno e o controle de .pessoal pelos representantes da construtora.

De acordo com a Norma DNIT 063/2004-PRO, foram levantados os materiais constituintes das camadas do sistema de pisos em concreto e a condição de uso do mesmo onde foi permitida a entrada do grupo. Dados como juntas e especificações dos veículos que trafegarão pelo piso estão discriminados nos detalhes de projeto. Além disso, é possível pontuar que havia área para moldagem dos corpos de prova e realização de ensaios no local da obra.