INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

Análise Comparativa de Modelos Estruturais Sismo-Resistentes: Impacto das Exigências Sísmicas e Consumo de Materiais em Edifícios de Concreto Armado

RAUL FRANCISCO FELICIANO

Foz do Iguaçu

2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

Análise Comparativa de Modelos Estruturais Sismo-Resistentes: Impacto das Exigências Sísmicas e Consumo de Materiais em Edifícios de Concreto Armado

RAUL FRANCISCO FELICIANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges

Foz do Iguaçu

2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

RAUL FRANCISCO FELICIANO

Análise Comparativa de Modelos Estruturais Sismo-Resistentes: Impacto das Exigências Sísmicas e Consumo de Materiais em Edifícios de Concreto Armado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

_____

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges
UNILA

_____

Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam
UNILA

_____

Prof. Dr. Ulises Bobadilla Guadalupe
UNILA

Foz do Iguaçu, 13 de março de 2025.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

AGRADECIMENTOS

Em primeiro plano, agradeço a Deus por me proporcionar sabedoria, perseverança e capacidade para dedicar-me plenamente e manter o foco ao longo desta trajetória.

À minha família, especialmente ao meu pai, Adilson, e minha mãe, Adriana, expresso minha profunda gratidão pelo constante apoio, incentivo e carinho dedicados a mim durante todas as etapas da minha formação. Sem vocês, esta conquista não teria sido possível.

À minha noiva, Julia, sou imensamente grato pelo companheirismo, incentivo constante e compreensão demonstrados durante todos esses anos, motivando-me sempre a buscar o melhor.

Ao professor Dr. Paulo Junges, agradeço sinceramente pela paciência, dedicação e valiosos ensinamentos compartilhados ao longo da orientação deste trabalho, fundamentais para meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos membros da banca avaliadora, expresso minha gratidão pelos conhecimentos transmitidos ao longo de toda a graduação e pela disponibilidade em participar deste momento tão significativo para minha formação.

Aos meus colegas de faculdade, especialmente ao grupo do Roleplay, sou grato pela colaboração, amizade e pelo constante apoio mútuo durante toda nossa trajetória acadêmica, enriquecendo as discussões e ampliando minha visão sobre o conhecimento.

Aos colegas que fiz ao longo dos meus anos de estágio nas empresas Brasteka e Conceito Arquitetura, e a todos aqueles com quem convivi neste período, registro minha gratidão por terem contribuído direta ou indiretamente com minha evolução profissional.

Por fim, agradeço a equipe do TQS por disponibilizar gratuitamente o *software* de análise de cálculo na versão pleno, sem restrições, o que foi imprescindível para realização desse trabalho.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

“O software é uma ótima combinação entre a arte e engenharia.”

Bill Gates

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

RESUMO

A atualização da norma técnica NBR 15421 (ABNT, 2023) evidencia que, apesar da baixa incidência sísmica, o Brasil não está imune a eventos sísmicos significativos. Neste contexto, com a finalidade de avaliar o impacto das exigências sísmicas na concepção estrutural e no consumo de materiais, três modelos estruturais de um edifício de 11 pavimentos em concreto armado foram comparados. O primeiro modelo foi dimensionado sem considerar os efeitos sísmicos, contemplando apenas cargas gravitacionais; o segundo incorporou efeitos sísmicos moderados, típicos do Brasil; enquanto o terceiro foi concebido para suportar ações sísmicas intensas, similares às do Peru. As análises modais e espectrais foram realizadas com o auxílio do software CAD/TQS, aplicando parâmetros normativos da NBR 15421 (ABNT, 2023) e da E030 peruana (RNE, 2018). Os resultados demonstram que o aumento da rigidez estrutural aliada a manutenção da ductilidade do sistema, indispensáveis para mitigar efeitos dinâmicos, elevaram o consumo de concreto em 22,54%, de formas em 6,33% e de aço em 60,12%, resultando em acréscimo de 34,97% no orçamento do terceiro modelo. Entretanto, ao analisar o custo global das edificações com base no CUB (fev/2025), verificou-se que, no Brasil, o incremento para implementar um projeto sismo-resistente é relativamente baixo (0,83%), destacando a viabilidade econômica da adoção dos critérios normativos para uma estrutura segura e eficiente.

Palavras-chave: Sismos; Concreto armado; Análise dinâmica; *CAD/TQS*.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

RESUMEN

La actualización de la norma técnica NBR 15421 (ABNT, 2023) evidencia que, a pesar de la baja incidencia sísmica, Brasil no está exento de eventos sísmicos significativos. En este contexto, con el fin de evaluar el impacto de los requisitos sísmicos en la concepción estructural y en el consumo de materiales, se compararon tres modelos estructurales de un edificio de 11 pisos en hormigón armado. El primer modelo fue dimensionado sin considerar los efectos sísmicos, contemplando únicamente cargas gravitacionales; el segundo incorporó efectos sísmicos moderados, típicos de Brasil; mientras que el tercero fue diseñado para resistir acciones sísmicas intensas, similares a las observadas en Perú. Los análisis modales y espectrales se realizaron con el software CAD/TQS, aplicando parámetros normativos de la NBR 15421 (ABNT, 2023) y de la E030 peruana (RNE, 2018). Los resultados indican que el incremento de rigidez estructural, indispensable para mitigar efectos dinámicos, elevó el consumo de hormigón en un 22,54%, de encofrados en un 6,33% y de acero en un 60,12%, resultando en un aumento del 34,97% en el presupuesto del tercer modelo. Sin embargo, al analizar el costo global de las edificaciones con base en el CUB (feb/2025), se verificó que, en Brasil, el incremento para implementar un proyecto sismorresistente es relativamente bajo (0,83%), destacando la viabilidad económica de adoptar criterios normativos para una estructura segura y eficiente.

Palabras-clave: Sismos; Hormigón armado; Análisis dinámica; *CAD/TQS*.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

ABSTRACT

The updated Brazilian technical standard NBR 15421 (ABNT, 2023) emphasizes that, despite low seismic activity, Brazil is not exempt from significant seismic events. In this context, aiming to assess the impact of seismic requirements on structural design and material consumption, three structural models of an 11-story reinforced concrete building were compared. The first model was designed without seismic considerations, accommodating only gravitational loads; the second incorporated moderate seismic effects typical in Brazil; and the third was designed to withstand intense seismic actions similar to those in Peru. Modal and spectral analyses were performed using CAD/TQS software, applying normative parameters from the Brazilian NBR 15421 (ABNT, 2023) and Peruvian E030 (RNE, 2018) standards. Results indicated that the increase in structural rigidity, essential to mitigate dynamic effects, led to increased consumption of concrete by 22.54%, formwork by 6.33%, and steel by 60.12%, resulting in an overall cost increase of 34.97% for the third model. However, analyzing the global construction cost based on CUB data (Feb/2025), it was observed that the additional cost to implement seismic-resistant criteria in Brazil is relatively low (0.83%), reinforcing the economic feasibility of adopting normative criteria for a safer and more efficient structure.

Keywords: Earthquakes; Reinforced concrete; Dynamic analysis; *CAD/TQS*.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A distribuição geográfica dos sismos, limites das placas tectônicas e a ocorrência de vulcões durante o período de 1961 a 1967. 17
Figura 2 - Epicentro e hipocentro 18
Figura 3 - Epicentros de sismos no Brasil 1720 a 2020, M>2.5 23
Figura 4 - Mapeamento da aceleração sísmica no Brasil 26
Figura 5 – Zoneamento sísmico do Peru 34
Figura 6 - Fluxograma dos processos do trabalho 38
Figura 7 - Projeto arquitetônico 39
Figura 8 - Renderização do edifício 40
Figura 9 - Planta de formas (Modelo 1) 47
Figura 10 - Modelagem 3D do edifício (Modelo 1) 48
Figura 11 - Carga média vertical (Modelo 1) 49
Figura 12 - Planta de formas (Modelo 2) 51
Figura 13 - Modelagem 3D do edifício (Modelo 2) 52
Figura 14 - Carga média vertical (Modelo 2) 54
Figura 15 - Planta de formas (Modelo 3) 55
Figura 16 - Carga média vertical (Modelo 3) 57
Figura 17 - Modelagem 3D do edifício (Modelo 3) 57
Figura 18 - Espectro de resposta do projeto (Modelo 2) 58
Figura 19 - Definição dos parâmetros de entrada do espectro de projeto (Modelo 3) 59
Figura 20 - Espectro de resposta do projeto (Modelo 3) 59
Figura 21 - Peso sísmico da estrutura (Modelo 2) 60
Figura 22 - Modos de vibração (Modelo 2) 61
Figura 23 - Centro de massa (Modelo 2) 61
Figura 24 - Peso sísmico da estrutura (Modelo 3) 62
Figura 25 - Modos de vibração (Modelo 3) 62

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de danos nas estruturas conforme magnitude 19
Tabela 2 - Escala de intensidade modificada de Marcalli 20
Tabela 3 - Definição da categoria sísmica 27
Tabela 4 - Definição da classe do terreno 27
Tabela 5 - Fatores de amplificação sísmica do solo 28
Tabela 6 - Categoria de utilização e fator de importância 29
Tabela 7 - Coeficiente de limitação do período 30
Tabela 8 - Coeficientes de projeto para diversos sistemas básicos sismo-resistentes 31
Tabela 9 - Irregularidades estruturais 32
Tabela 10 - Fator Z 34
Tabela 11 - Classificação dos perfis do solo 35
Tabela 12 - Categoria das edificações e fator U 35
Tabela 13 - Cobrimentos 41
Tabela 14 - Densidade de pilares e vãos médios (Modelo 1) 48
Tabela 15 - Parâmetros de estabilidade global (Modelo 1) 49
Tabela 16 - Deslocamentos horizontais ELS (Modelo 1) 49
Tabela 17 - Parâmetros de estabilidade global (Modelo 2) 53
Tabela 18 - Deslocamentos horizontais ELS (Modelo 2) 53
Tabela 19 - Densidade de pilares e vãos médios (Modelo 2) 53
Tabela 20 - Densidade de pilares e vãos médios (Modelo 3) 56
Tabela 21 - Parâmetros de estabilidade global (Modelo 3) 56
Tabela 22 - Deslocamentos horizontais ELS (Modelo 3) 57
Tabela 23 - Parâmetros do espectro de projeto (Modelo 2) 58
Tabela 24 - Seção dos pilares 63
Tabela 25 - Resumo do consumo e taxas (Modelo 1) 65
Tabela 26 - Resumo do consumo e taxas (Modelo 2) 65
Tabela 27 - Resumo do consumo e taxas (Modelo 3) 65
Tabela 28 - Variação percentual de consumo de materiais 66
Tabela 29 - Composição de fabricação de fôrmas (COMP-01) 67
Tabela 30 - Orçamento de materiais (Modelo 1) 68
Tabela 31 - Orçamento de materiais (Modelo 2) 68
Tabela 32 - Orçamento de materiais (Modelo 3) 68
Tabela 33 - Resumo orçamentário 69

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

1.2 OBJETIVO 15
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 15

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

2.1 SISMO 16
2.1.1 Epicentro e Hipocentro 17
2.1.2 Intensidade e magnitude de um terremoto 18
2.1.2.1 Escala Richter de magnitude 18
2.1.2.2 Escala Mercalli de magnitude 19
2.1.3 Sismos no Brasil 21
2.1.4 Sismos no Peru 23
2.2 ANÁLISE SÍSMICA DAS ESTRUTURAS 24
2.2.1 Análise sísmica pelo método espectral 25
2.3 NORMATIVA BRASILEIRA DE PROJETO DE ESTRUTURAS RESISTENTES A SISMO - ABNT NBR 15421:2023 25
2.3.1 Zoneamento sísmico brasileiro 25
2.3.2 Categorias sísmicas 26
2.3.3 Definição da classe do terreno 27
2.3.4 Espectro de resposta 28
2.3.5 Categorias de utilização 29
2.3.6 Período natural da estrutura 29
2.3.7 Sistemas básicos sismos-resistentes 30
2.3.8 Requisitos para o projeto de edifícios 31
2.3.9 Configuração estrutural 31
2.4 NORMATIVA PERUANA - NORMA E.030 *DISEÑO SISMORRESISTENTE* 33
2.4.1 Zoneamento sísmico peruano 33
2.4.2 Definição do perfil do terreno 34
2.4.3 Definição de uso e ocupação da estrutura 35
2.4.4 Sistema estrutural sismo-resistente 36
2.5 CAD/TQS – *SOFTWARE* DE CÁLCULO 36

3. METODOLOGIA 38

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA 39
3.2 LOCALIZAÇÃO DE ESTUDO 40
3.3 PREMISSAS DE PROJETO 41
3.3.1 Esforços e cargas considerados 41
3.4 FERRAMENTA PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO 42
3.5 MODELAGEM ESTRUTURAL 42
3.6 DEFINIÇÃO DO ESPECTRO DE PROJETO 43
3.6.1 Normativa brasileira 43
3.6.2 Normativa Peruana 44
3.7 ANÁLISE MODAL E ESPECTRAL 44
3.7.1 Normativa brasileira 44
3.7.2 Normativa peruana 45

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES....46
4.1 DIMENSIONAMENTO E MODELAGEM ESTRUTURAL....46
4.1.1 Modelo 1....46
4.1.2 Modelo 2....50
4.1.3 Modelo 3....54
4.2 ESPECTRO DE PROJETO....58
4.2.1 Modelo 2....58
4.2.2 Modelo 3....58
4.3 ANÁLISE MODAL E ESPECTRAL....59
4.3.1 Modelo 2....59
4.3.2 Modelo 3....62
4.4 COMPARATIVO DE MATERIAIS....63
4.4.1 Seção dos pilares....63
4.4.2 Consumo de materiais....65
4.4.3 Comparação de custo....67
4.4.3.1 Custo por metro quadrado....69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS....71
6. REFERÊNCIAS....73
APÊNDICES....75

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

1 INTRODUÇÃO

Dentro da temática dos perigos geoambientais, os terremotos ganham relevância mesmo em regiões com histórico de baixa atividade sísmica, como o Brasil. Embora o país não apresente eventos de alta magnitude, a qualidade das estruturas deve ser considerada, principalmente em função da vulnerabilidade socioeconômica de boa parte da população. Além disso, a falta de conscientização quanto aos efeitos sísmicos pode agravar os danos causados durante eventos moderados (LOPES; NUNES, 2011).

A ausência de elevados números e magnitudes de terremotos no Brasil tende a levar engenheiros e arquitetos a negligenciarem as ações sísmicas na concepção, dimensionamento e análise de cargas de edificações usuais (NÓBREGA; NÓBREGA, 2016). Embora em determinadas áreas a ação sísmica possa ser considerada de menor relevância, edificações de uso coletivo devem ser projetadas para manter seu desempenho funcional mesmo em caso de eventos sísmicos.

Em contrapartida, a costa ocidental da América do Sul é reconhecida como uma das regiões sismicamente mais ativas do mundo. Países como o Peru, que possuem parte de seu território inserido nessa zona tectônica, sofrem atividades sísmicas de elevada magnitude com frequência considerável. Por exemplo, em 1970, um terremoto de magnitude superior a 7 na escala Richter devastou diversas cidades, causando a perda estimada de cerca de 70 mil vidas (OLIVER-SMITH, 1994; TAVERA; BUFORN, 1998).

Diante desse cenário, torna-se fundamental que projetistas estruturais desenvolvam edificações sismo-resistentes em conformidade com as normativas locais. No Brasil, vigora a NBR 15421 – Projeto de Estruturas Resistentes a Sismo (ABNT, 2023), enquanto no Peru, desde 2017, está em vigor a Norma E.030 *Diseño Sismorresistente*. Ambas estabelecem os requisitos técnicos para a concepção, cálculo e dimensionamento de edifícios sujeitos a ações sísmicas (RODRÍGUEZ, 2018).

Para atender às exigências normativas, são empregados métodos numéricos por meio de *softwares* de cálculo estrutural. Entre as diversas análises, destaca-se a análise modal espectral, que busca resolver as equações de equilíbrio dinâmico de um edifício submetido a excitação sísmica (GUDIEL; ANGEL, 1995; WILSON, 2002). Vale ressaltar que, com as atualizações tecnológicas, o sistema CAD/TQS – *software* brasileiro de cálculo estrutural – integra, de forma atualizada, procedimentos para análise dinâmica, exigindo apenas a especificação de

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

parâmetros como zona territorial, tipo de edificação, características do solo, tipo de estrutura e taxa de amortecimento (TQS, 2023).

Assim, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de avaliar o processo de dimensionamento de um edifício de 11 pavimentos em concreto armado, aplicando as normativas brasileira e peruana. Uma análise comparativa foi realizada, a qual abrange os impactos das cargas sísmicas sobre os deslocamentos laterais e relativos, além do consumo de materiais, considerando a variação territorial em que o edifício está inserido.

.

.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

1.2 Objetivo

Comparar diferentes abordagens normativas sobre estruturas sismo-resistentes e seu impacto no dimensionamento de um edifício de concreto armado de 11 pavimentos.

1.3 Objetivo específico

Para atingir o objetivo geral, elenca-se os seguintes objetivos específicos:

a) Avaliar a viabilidade técnica da concepção estrutural inicial após realizar a análise modal espectral utilizando o *software* TQS;

b) Investigar o impacto da região de implantação na solução estrutural;

c) Verificar o impacto do dimensionamento sismo-resistente na estabilidade global do edifício, em termos dos coeficientes gama z, favt e alfa;

d) Avaliar a viabilidade econômica da construção do edifício, frente às diferentes abordagens sismo-resistentes, por meio da comparação do consumo de formas, aço, concreto e o seu impacto no custo final da edficiação;

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente projeto baseia-se em uma revisão bibliográfica que abrange estudos sobre a natureza dos tremores sísmicos, os parâmetros estabelecidos pela NBR 15421 (ABNT, 2023) e pela norma peruana E030 (RNE, 2018), o comportamento de sistemas de um grau de liberdade e a análise dinâmica. O conhecimento obtido nessa revisão será aplicado na elaboração dos projetos estruturais e na avaliação do impacto dos eventos sísmicos sobre eles.

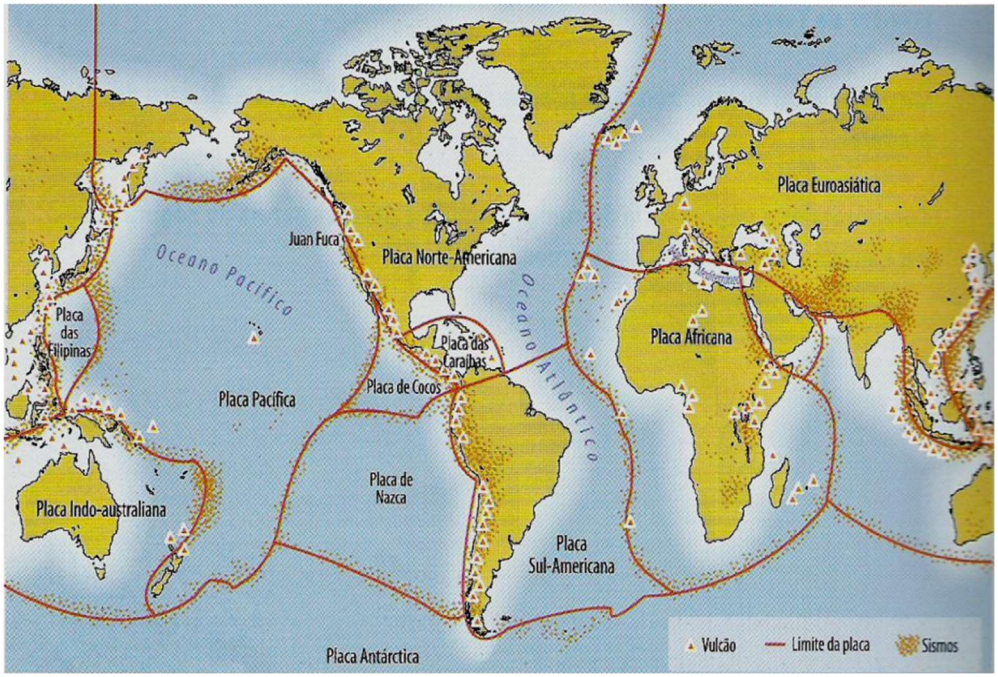
2.1 Sismo

Os sismos, terremotos ou tremores de terra, constituem vibrações da crosta terrestre, decorrentes de distintos fenômenos, como a atividade vulcânica, a queda de tetos de cavernas subterrâneas e, sobretudo, de deslocamentos abruptos das grandes placas que subdividem a referida crosta. Os efeitos sísmicos mais severos e importantes do ponto de vista da engenharia civil são aqueles de origem tectônica. Tais efeitos são gerados por pressões que se desenvolvem na crosta em decorrência de fluxos de magma provenientes do interior do planeta, que são capazes de superar a fricção que mantém em contato as bordas das placas, ocasionando a queda de esforços e a liberação de quantidades enormes de energia armazenada na rocha. A energia é liberada, sobretudo, sob a forma de ondas vibratórias que se propagam a grandes distâncias através da crosta rochosa. (BÁZAN-MELI, 2022).

Em sua maior parte, a superfície terrestre é caracterizada pela presença de falhas geológicas. No entanto, a atividade sísmica não é uniformemente distribuída nesses locais, ocorrendo com maior frequência em zonas onde os movimentos ao longo das falhas são mais severos e frequentes. A Figura 1 apresenta uma visão geral da distribuição espacial dos grandes sismos, bem como das placas tectônicas e das zonas de subducção.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 1 - A distribuição geográfica dos sismos, limites das placas tectônicas e a ocorrência de vulcões durante o período de 1961 a 1967.



Fonte: Balezelli, 2013.

A vibração da crosta terrestre constitui uma das principais ameaças para as edificações, pois impõe movimentações em sua base. Esses movimentos geram forças de inércia sobre as massas das estruturas, induzindo esforços significativos nos elementos estruturais, o que pode levar à falha da edificação (BÁZAN-MELI, 2022).

É notório que forças sísmicas são um dos mais destrutivos agentes da natureza e podem representar um grande risco para danos materiais e perda de vidas humanas, por conta disso, a tecnologia atual, prevê a ocorrência e magnitude de um sismo em uma determinada região estimando-a em termos probabilísticos. O objetivo é coletar informações, do ponto de vista da engenharia, a partir de registros de sismos passados, para que as estruturas possam ser projetadas com um nível de risco de colapso dentro de um nível de probabilidade aceitável pela sociedade. (LIMA; HAMPSHIRE, 2008).

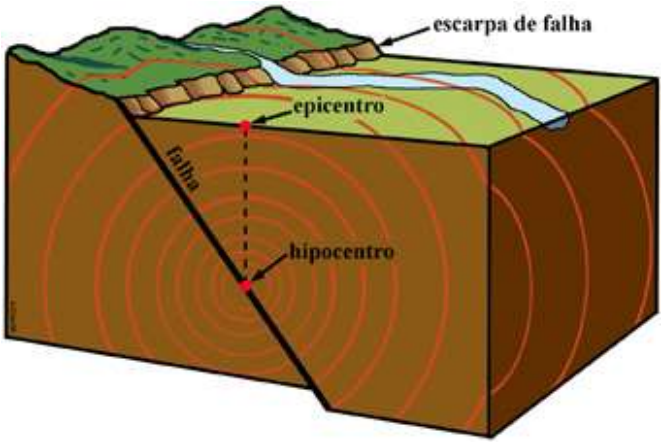
2.1.1 Epicentro e Hipocentro

O ponto na crosta terrestre em que ocorre o início da ruptura e consequentemente a liberação da tensão acumulada denomina-se hipocentro (ou foco). O ponto da superfície terrestre localizado diretamente acima do hipocentro é o epicentro (LIMA; HAMPSHIRE,

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

2008). Este último é de maior interesse para a população afetada pelo sismo, uma vez que corresponde a uma cidade, povoado, ou outro ponto conhecido a uma certa distância do epicentro, e não a um ponto remoto no interior da crosta terrestre. A Figura 2 ilustra esses dois conceitos.

Figura 2 - Epicentro e hipocentro



Fonte: https://descomplica.com.br/blog/terremotos-parte-1/

2.1.2 Intensidade e magnitude de um terremoto

Lima e Hampshire (2008) definem que os terremotos são quantificados, em termos absolutos, pela quantidade de energia liberada durante o evento sísmico. Essa quantificação é denominada magnitude.

2.1.2.1 Escala Richter de magnitude

Charles Francis Richter, um renomado sismólogo, desenvolveu no ano de 1935 a Escala Richter. Esta escala é amplamente utilizada para avaliar a grandeza da força sísmica, sua quantificação inicia em 0 e não possui limites, porém usualmente se apresenta no intervalo de 0 a 9 pontos, visto que ainda não foram observados terremotos com magnitude igual ou superior a 10 pontos na escala. (THÖLKEN, 2013). A Tabela 1 apresenta uma relação dos danos estruturais com os níveis da Escala de Richter.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Tabela 1 - Relação de danos nas estruturas conforme magnitude

Classificação	Escala Richter de Magnitude	Danos estruturais
Micro	<2,0	Não ocorre
Muito pequeno	2,0-2,9	Não ocorre
Pequeno	3,0-3,9	Raramente causa danos
Ligeiro	4,0-4,9	Danos importantes pouco comuns
Moderado	5,0-5,9	Pode causar danos
Forte	6,0-6,9	Pode ser destruidor
Grande	7,0-7,9	Pode causar graves danos
Importante	8,0-8,9	Pode causar sérios danos num raio de centenas de quilômetros
Excepcional	9,0	Devasta zonas num raio de milhares de quilômetros

Fonte: Adaptado (THÖLKEN, 2013)

Na escala de Richter a partir de um sismo de magnitude M, é possível mensurar a quantidade de energia E liberada, em Joules, de forma empírica, como mostra a equação 1 (CLOUGH; PENZIEN, 1995).

$$\log_{10} E = 11{,}8 + 1{,}5\ M \qquad (1)$$

Sendo:

- E: a energia liberada pelo terremoto em 10^{13} Joules
- M: Magnitude do sismo na escala Richter

Nota-se que a variação de um número na magnitude da escala Richter, converte-se em aproximadamente 32 vezes mais energia liberada.

2.1.2.2 Escala Mercalli de magnitude

A escala de intensidade sísmica de Mercalli, elaborada originalmente por De Rossi e Forel em 1883 e posteriormente modificada por Mercalli em 1902, foi expandida de 10 para 12 graus por Cancani e apresentada de forma mais elaborada por Sieberg em 1923. Em 1931, Neumann e Wood publicaram a "Escala Modificada de Mercalli", comumente conhecida como MMI, que teve duas versões elaboradas: uma versão resumida para uso rápido e outra versão mais detalhada, que reteve as descrições da versão de 1923. (PÉREZ ZARCO, 2002).

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Cada grau na escala de intensidade é caracterizado por um conjunto de observações sobre os efeitos nas estruturas e no meio ambiente, assim como pelos efeitos sentidos pelo ser humano ou reações de animais. Recentemente, o nível de correlação entre as descrições que caracterizam cada grau de intensidade foi avaliado a partir de uma amostra de 400.000 atribuições de intensidade coletadas entre 1928 e 1974, levando ao rearranjo das descrições de cada grau, conforme pode ser observado na Tabela 2. (PÉREZ ZARCO, 2002).

Tabela 2 - Escala de intensidade modificada de Marcalli

Intensidade	Descrição
I	Imperceptível para população. Esse nível de intensidade geralmente é identificado apenas por instrumentos sismológicos sensíveis, e não apresenta impacto significativo em estruturas ou outras edificações.
II	Perceptível por pessoas que estão em repouso, em locais mais elevados, como andares altos de edifícios, ou em áreas especialmente sensíveis à vibração, como terrenos instáveis ou próximos ao epicentro do terremoto.
III	Este nível de intensidade é percebido no interior de edificações, onde objetos suspensos balançam. A vibração é semelhante ao tráfego de caminhões leves e sua duração pode ser estimada. Geralmente, é reconhecido como um terremoto.
IV	Objetos suspensos apresentam movimentos oscilatórios visíveis e a vibração pode ser sentida de maneira semelhante ao tráfego de caminhões pesados ou a um impacto forte de uma bola nas paredes. Os carros parados também balançam e portas, janelas e pratos vibram. Além disso, pode-se observar o estalo de vidros e o entrechoque de louças. Em intensidades mais altas, como na faixa superior do nível IV, pode haver fissuras em paredes de madeira e pórticos.
V	Nesse nível, o tremor é sentido nas ruas, permitindo que a direção seja estimada. As pessoas são acordadas pelo tremor, e líquidos são perturbados, podendo ser derramados. Objetos pequenos e instáveis são deslocados ou derrubados. Portas oscilam, abrem e fecham, e janelas, quadros e venezianas movem-se. Relógios de pêndulo podem parar, voltar a funcionar ou alterar seu ritmo.
VI	Intensidade perceptível a todos. Muitos indivíduos se assustam e correm para as ruas em decorrência do tremor. As pessoas caminham de maneira instável e desequilibrada. Janelas, pratos e outros objetos de vidro são quebrados, e pequenos objetos como livros caem das estantes. Quadros caem das paredes, e a mobília é deslocada ou tombada. Reboco e alvenaria fracos apresentam rachaduras, e pequenos sinos de escolas e igrejas tocam. Árvores e arbustos movem-se visivelmente devido ao tremor.
VII	A sensação de instabilidade é forte, tornando difícil permanecer em pé. Motoristas podem notar a vibração. Objetos suspensos oscilam intensamente e a mobília pode se quebrar. Há danos e rachaduras em alvenaria fraca, com queda de reboco, tijolos, pedras, telhas, cornijas, parapeitos e ornamentos arquitetônicos não contraventados. Algumas rachaduras podem ocorrer em alvenaria normal. Reservatórios apresentam ondas e a água fica turva com lama. Pode haver pequenos escorregamentos e cavidades em taludes de areia ou pedregulho. Sinos grandes podem tocar e canais de irrigação de concreto podem ser danificados.
VIII	A direção de veículos é prejudicada. Há danos e possibilidade de colapso parcial em construções de alvenaria comum. Algum dano em construções de alvenaria sólida, mas nenhuma em alvenaria reforçada. Queda de estuque e algumas paredes de alvenaria. Chaminés, incluindo as de fábricas, monumentos, torres e tanques elevados, torcem e caem. Casas com pórticos movem-se em suas fundações ou até mesmo são arrancadas do solo. Pilhas de entulho caem. Galhos quebram nas árvores. Alterações na vazão ou temperatura de fontes. Rachaduras em chão úmido ou em taludes íngremes.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

IX	Situação de pânico generalizado. Alvenaria fraca completamente destruída, enquanto a alvenaria comum sofre danos severos, podendo haver colapso total. Alvenaria sólida também é seriamente afetada. Fundações sofrem danos generalizados. Estruturas em pórtico, quando não arrancadas do solo, são deslocadas em suas fundações e apresentam rachaduras significativas. O solo também sofre rachaduras importantes. Em áreas de aluvião, há arraste de areia e lama, formando minas d'água e crateras na areia.
X	Há grandes deslizamentos de terra e muitos edifícios são destruídos. Pontes, barragens, diques e taludes sofrem danos sérios. Trilhos são levemente entortados. Água é lançada nas margens de canais, rios, lagos etc., e lama é lançada horizontalmente em praias e terrenos planos.
XI	Trilhos bastante entortados. Tubulações subterrâneas completamente fora de serviço.
XII	Trilhos apresentam deformações excessivas. Tubulações subterrâneas tornam-se inoperantes devido à destruição ou interrupção da sua integridade estrutural.

Fonte: Adaptado (LIMA; HAMPSHIRE, 2008, p.127, 128)

A escala modificada de Mercalli, por não permitir a realização de observações absolutas, possui caráter meramente qualitativo. Além disso, atualmente a escala encontra-se em desuso.

2.1.3 Sismos no Brasil

Conforme relatado por Guilherme Schüch, Barão de Capanema (1854), ocorreram terremotos no Brasil desde os primeiros registros, e o fato de os eventos históricos terem sido, até então, inofensivos não garante a ausência de fenômenos de maior intensidade. Durante muito tempo, difundiu-se a ideia equivocada de que o Brasil é uma região essencialmente estável e livre de terremotos. Contudo, a sismicidade brasileira, como destacam Lopes e Nunes (2011), embora moderada se comparada à da região andina, é significativa, havendo registros de tremores com magnitude superior a 5,0 na escala Richter. Esse fato indica que o risco sísmico em nosso país não pode ser ignorado de forma simplista.

A maioria dos sismos ocorridos no Brasil apresenta baixa magnitude e ocorre a pouca profundidade (aproximadamente 30 km), o que restringe sua percepção a áreas próximas ao epicentro. Esse padrão é comum em regiões interiores de placas tectônicas. No entanto, a história demonstra que grandes terremotos também podem ocorrer em tais áreas. Um exemplo é o leste dos Estados Unidos, que, apesar de ter uma atividade sísmica comparável à do Brasil, foi surpreendido no século passado por eventos com magnitudes em torno de 8,0 (VELOSO, 2012).

É crucial realizar investigações mais detalhadas em nível global nas regiões intra-placas. Ainda há muito a ser compreendido sobre o estado de tensões nessas áreas. Conforme explica Carvalho (2019), como os períodos de recorrência de grandes terremotos são mais longos nessas

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

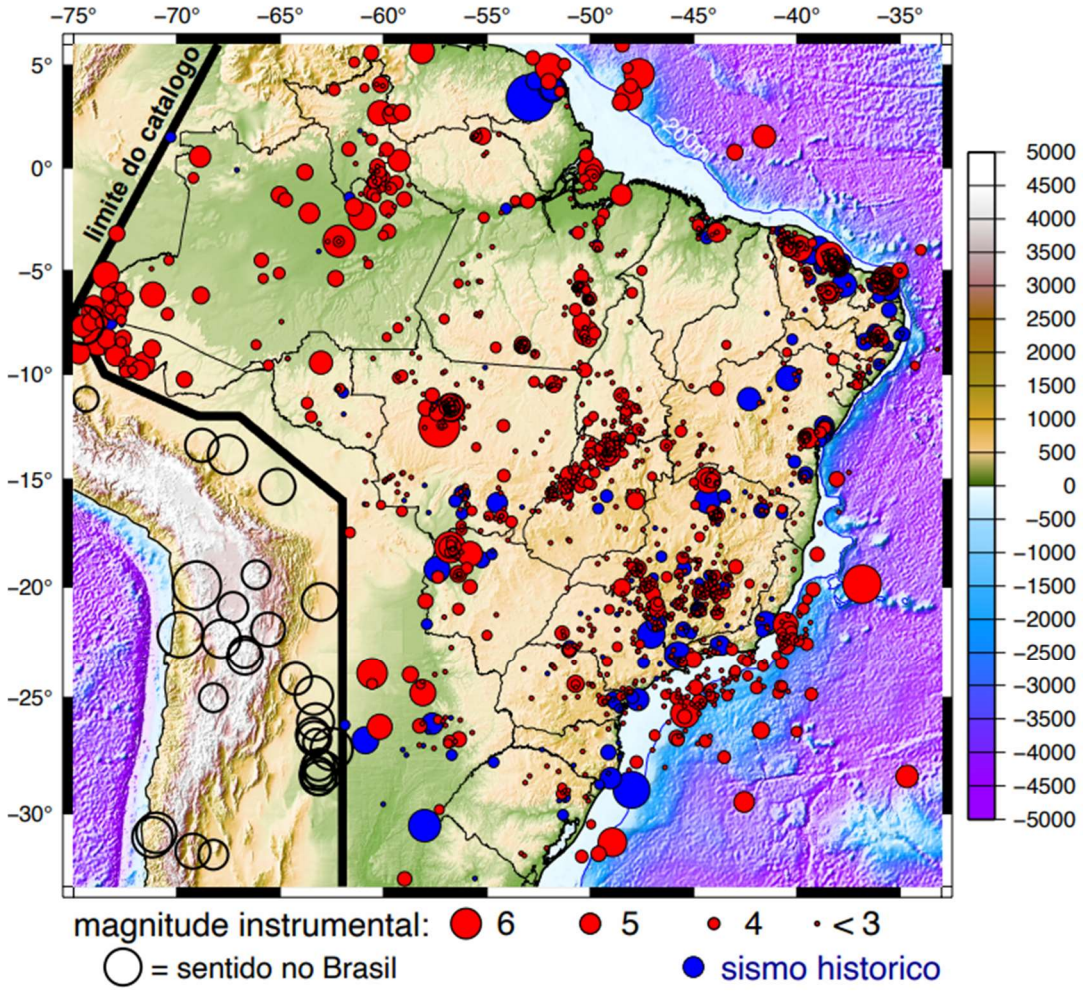
regiões, elas também se tornam áreas potencialmente perigosas para a ocorrência de sismos catastróficos

Em meados da década de 1970, foram instaladas as primeiras estações sismográficas no Brasil em áreas de reservatórios hidrelétricos e, com isso, nasceu uma rede nacional que se aperfeiçoa ao longo do tempo. Isso aconteceu pela necessidade de monitorar o possível surgimento de sismos induzidos nas áreas daqueles lagos artificiais, o que acabou melhorando a capacidade de detecção sísmica em todo o país. (VELOSO, 2012).

Com base na extensa coleta de dados históricos e registros instrumentais, podemos observar na Figura 3 o mapa da sismicidade no Brasil. A concentração de epicentros observada nas regiões sudeste e nordeste é resultado de um maior volume de informações históricas decorrente do processo de ocupação do país. Isso ocorre porque quanto maior o número de habitantes, maior é a probabilidade de um evento sísmico ser registrado e documentado.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 3 - Epicentros de sismos no Brasil 1720 a 2020, M>2.5



Fonte: Centro de sismologia da USP / RSBR

2.1.4 Sismos no Peru

A costa do Peru está localizada em frente à placa de Nazca, que se introduz abaixo da placa Sul-Americana a uma taxa de 9 cm por ano. Essa subducção é expressa na superfície da crosta como a Fossa Oceânica do Oceano Pacífico, localizada a 150 km da costa peruana. Essa zona de subducção é responsável pelos maiores terremotos interplaca superficiais no mar. Além disso, na costa, há um acentuado afundamento e inclinação da placa de Nazca, com os maiores terremotos ocorrendo em profundidades intermediárias de 50 a 70 km. Esses movimentos geológicos são responsáveis por terremotos de grande magnitude e intensidade na história do Peru. (HURTADO VALDEZ, 2010)

De acordo com Tavera e Huarache (1998), a sismicidade no Peru pode ser classificada em dois tipos, de acordo com sua origem: o primeiro está diretamente relacionado ao contato entre placas, resultando em terremotos de alta magnitude que ocorrem com frequência em

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

diferentes profundidades; o segundo tipo corresponde à sismicidade gerada pela deformação da Cordilheira dos Andes, caracterizada por terremotos de menor magnitude e frequência.

Um dos maiores eventos sísmicos já registrado na América-Lantina ocorreu no Peru no ano de 1970, no qual aproximadamente 70 mil pessoas vieram a óbito e outras 140 mil ficaram feridas com o ocorrido. Na ocasião, a magnitude do terremoto atingiu magnitude superior a 7 graus na escala de Richter (OLIVER-SMITH, 1994). Os fortes tremores que atingem o país constantemente, possuem impacto significativo na arquitetura e ambiente construído da região, fazendo com que engenheiros civis concentrem seus esforços cada vez mais na busca por estruturas sismoresistentes.

2.2 Análise sísmica das estruturas

As distintas normativas de projeto estrutural sismoresistente do mundo especificam diversos procedimentos para realizar análise sísmica de edifícios. Tanto a norma peruana E030 (RNE, 2018) quanto a NBR 15421 (ABNT, 2023), consideram os seguintes métodos de análise sísmica: Análise sísmica pelo método das forças horizontais equivalentes; Análise sísmica com históricos de acelerações no tempo; Análise sísmica pelo método espectral.

Uma análise sísmica pode ser avaliada de modo estático ou dinâmicos O problema estrutural dinâmico difere-se de um problema estático em dois aspectos importantes. Primeiramente, o carregamento é considerado dinâmico quando a magnitude, direção ou posição variam ao longo do tempo. O segundo aspecto relaciona-se com as forças inerciais, as quais são ativadas na estrutura quando ela é excitada dinamicamente. Dessa forma, os esforços internos na estrutura são equilibrados não apenas pelas forças externas aplicadas, mas também pelas forças inerciais. Se as forças inerciais representarem uma parte significativa do equilíbrio de carregamento em relação às forças elásticas internas da estrutura, então a natureza dinâmica do problema deve ser considerada na solução. Contudo, se os movimentos forem tão lentos que as forças inerciais forem pequenas, ou quando o tempo de aplicação das cargas for muito maior em relação ao período fundamental da estrutura, a análise para qualquer instante de tempo desejado pode ser realizada por meio de procedimentos de análise estrutural estática. (PARISENTI, 2011).

As análises estáticas em estruturas sujeitas a ações como vento, sismo, cargas móveis, entre outras, podem resultar em problemas de ampliação de deslocamentos e esforços, sendo mais apropriado utilizar a análise dinâmica para obter resultados mais precisos. No entanto, como explicam Tessari, Kroetz e Beck (2017), em muitos casos, as cargas dinâmicas são

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

convertidas em cargas estáticas por meio de uma aproximação de valores, a fim de simplificar o processo de análise.

2.2.1 Análise sísmica pelo método espectral

A análise sísmica pelo método espectral, ou AEM, é uma técnica empregada para determinar a resposta dinâmica de uma estrutura sujeita a ações sísmicas, considerando suas características modais. Esse método é amplamente utilizado em projetos estruturais, pois leva em conta as frequências naturais da edificação e sua resposta a essas frequências durante um evento sísmico. Essa abordagem é fundamental para assegurar a segurança e o desempenho adequado das estruturas em áreas suscetíveis a sismos, proporcionando uma análise dinâmica que reflete com precisão o comportamento da edificação diante das forças sísmicas.

2.3 Normativa Brasileira de Projeto de Estruturas Resistentes a Sismo - ABNT NBR 15421:2023

A norma brasileira de projeto para estruturas sismo-resistentes estabelece os requisitos mínimos para a análise de estruturas convencionais sujeitas a ações sísmicas, visando a preservação da vida humana, a redução dos danos nas edificações e a sua capacidade de permanecer em funcionamento após a ocorrência de um terremoto.

Ao longo de seu escopo, a normativa aborda diversos aspectos, incluindo os estados limites último e de serviço, a classificação das ações sísmicas e sua combinação com outras cargas atuantes na estrutura, o zoneamento sísmico do brasil baseado na variação da aceleração característica de projeto correspondente à aceleração sísmica horizontal (a_g). A NBR 15421 (ABNT, 2023) também visa determinar métodos de cálculo para que seja possível avaliar os esforços sísmicos que atuam na estrutura. Dessa forma, entende-se os requisitos necessários para que o sistema estrutural do edifício forneça adequada absorção dos esforços solicitados.

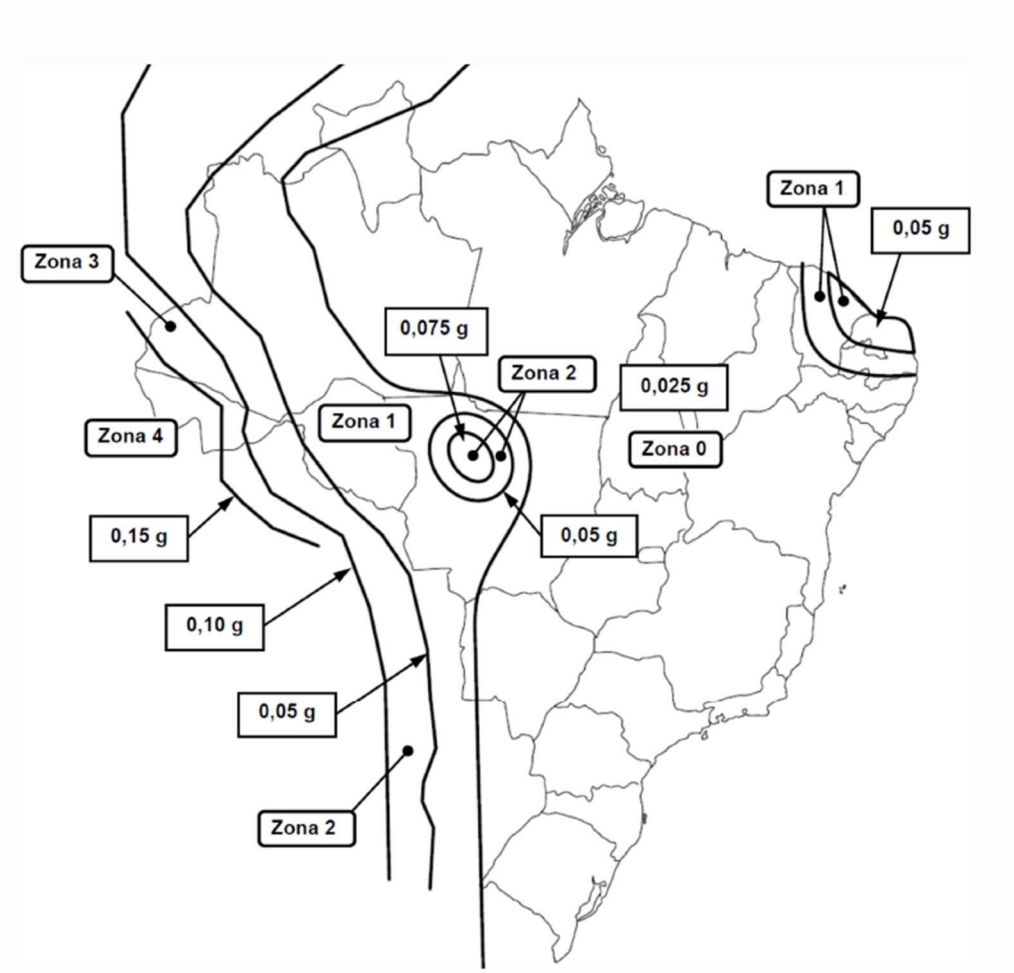
2.3.1 Zoneamento sísmico brasileiro

Baseando-se nas acelerações sísmicas horizontais que atuam em terrenos do tipo rochoso, o zoneamento sísmico brasileiro é definido em cinzo zonas, como mostra a Figura 4.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Ressalta-se que para projetos localizados nas regiões 1 a 3 do mapa, os valores de a_g podem ser determinados por interpolação nas curvas. A norma também considera de forma opcional obter a aceleração sísmica horizontal no Brasil a partir da realização de estudo geológico e sismológico específico na região.

Figura 4 - Mapeamento da aceleração sísmica no Brasil



Fonte: ABNT NBR 15421:2023

2.3.2 Categorias sísmicas

Para cada estrutura projetada, deve-se definir uma categoria sísmica, baseada na localização do projeto e a zona que está inserido de acordo com o mapa da Figura 4. Essas categorias, apresentadas na Tabela 3, tem por função estabelecer os arranjos estruturais permitidos, restrições relacionadas às suas irregularidades e os métodos de análise sísmica que devem ser adotados.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Tabela 3 - Definição da categoria sísmica

Zona sísmica	Categoria sísmica
Zonas 0 e 1	A
Zona 2	B
Zonas 3 e 4	C

Fonte: ABNT NBR 15421:2023

2.3.3 Definição da classe do terreno

A normativa permite designar o terreno de fundação em seis diferentes classes, as quais são determinadas com base nos valores médios dos parâmetros de resistência do solo avaliados em seus 30 primeiros metros. Nesta classificação o principal parâmetro é a velocidade média de propagação de ondas de cisalhamento ($\bar{v}_s$), porém, caso esse dado não for conhecido, é permitido classificar o terreno a partir da média do número de golpes ($\bar{N}$), no ensaio SPT (*Standart Penetration Test)*, conforme apresenta a Tabela 4.

Tabela 4 - Definição da classe do terreno

Classe do terreno	Designação da Classe do terreno	Propriedades médias para os 30 m superiores do terreno	
		$\bar{v}_s$	$\bar{N}$
A	Rocha sã	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s	(não aplicável)
B	Rocha	1500 m/s $\geq \bar{v}_s \geq$ 760 m/s	(não aplicável)
C	Rocha alterada ou solo muito rígido	760 m/s $\geq \bar{v}_s \geq$ 370 m/s	$\bar{N} \geq 50$
D	Solo rígido	370 m/s $\geq \bar{v}_s \geq$ 180 m/s	$50 \geq \bar{N} \geq 15$
E	Solo mole	$\bar{v}_s \leq$ 180 m/s	$\bar{N} \leq 15$
	-	Qualquer perfil incluindo camada com mais de 3 m de argila mole	
F	-	Solo exigindo avaliação específica, como: 1. Solos vulneráveis à ação sísmica, como solos liquefazíveis, argilas muito sensíveis e solos colapsíveis fracamente cimentados; 2. Turfa ou argilas muito orgânicas; 3. Argilas muito plásticas; 4. Estratos muito espessos (≥ 35 m) de argila mole ou média	

Fonte: ABNT NBR 15421:2023

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

2.3.4 Espectro de resposta

De acordo com a NBR 15421 (ABNT, 2023), o "espectro de resposta de projeto, $Sa(T)$, para acelerações horizontais, equivale à resposta elástica de um sistema de um grau de liberdade com amortecimento crítico de 5%". A norma apresenta equações específicas (Equações 2 e 3) para o cálculo das acelerações a_{g0} e a_{g1}, fundamentais para a determinação das forças sísmicas atuantes nas estruturas.

$$a_{g0} = C_a \,.\, a_g \tag{2}$$

$$a_{g1} = C_v \,.\, a_g \tag{3}$$

Sendo, as acelerações espectrais a_{g0} e a_{g1}, valores obtidos para períodos de 0,0s e 1,0s, respectivamente, já considerando o efeito de ampliação sísmica do solo. Os fatores C_a e C_v representam a amplificação sísmica do solo nos períodos de 0,0s e 1,0s de acordo com a tabela 3 da NBR 15421 (ABNT, 2023) e a tabela 5, sendo dependentes da aceleração característica de projeto a_g e da classe do solo.

Tabela 5 - Fatores de amplificação sísmica do solo

Classe do terreno	C_a		C_v	
	$a_g \leq$ 0,10g	a_g = 0,15g	$a_g \leq$ 0,10g	a_g = 0,15g
A	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,7	1,7
D	1,6	1,5	2,4	2,2
E	2,5	2,1	3,5	3,4

Fonte: ABNT NBR 15421:2023

Conforme estabelecido pela NBR 15421 (ABNT, 2023), o espectro de resposta do projeto $Sa(T)$ deve ser calculado considerando quatro faixas distintas de períodos, definidas pelas Equações 4, 5, 6 e 7.

Para $0 \leq T \leq 0{,}04.\frac{C_v}{Ca}$ $\qquad Sa(T) = a_{g0} \,.\, (37{,}5.T.\frac{C_v}{Ca} + 1{,}0)$ (4)

Para $0{,}04.\frac{C_v}{Ca} \leq T \leq 0{,}03.\frac{C_v}{Ca}$ $\qquad Sa(T) = 2{,}5.a_{gs0}$ (5)

Para $0{,}03.\frac{C_v}{C_a} \leq T \leq 2{,}0.\frac{C_v}{C_a}$ $\qquad Sa(T) = \frac{a_{gs1}}{T}$ (6)

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Para $T \geq 2{,}0.\frac{C_v}{C_a}$ $$Sa(T) = 2.\frac{C_v}{C_a}.(\frac{a_{gs1}}{T^2})$$ (7)

2.3.5 Categorias de utilização

De modo a definir os critérios de resistência de uma estrutura sismo-resistente no Brasil, a NBR 15421 (ABNT, 2023), associa o fator de importância de utilização (*I*), de modo a majorar as cargas sísmicas contrapondo as incertezas de projeto. Essa classificação permite distinguir as estruturas avaliadas em três categorias distintas a partir da natureza de sua ocupação, como destaca a Tabela 6:

Tabela 6 - Categoria de utilização e fator de importância

Categorias de utilização	Natureza da ocupação	Fator *I*
I	Qualquer estrutura não enquadrada nas categorias II e III.	1,0
II	Estruturas de importância substancial para preservação da vida humana.	1,25
III	Estruturas definidas como essenciais.	1,50

Fonte: Adaptado NBR 15421 (ABNT, 2023)

2.3.6 Período natural da estrutura

Conforme o item 9.2 da NBR 15421 (ABNT, 2023), são apresentados dois métodos para o cálculo do período natural da estrutura. O primeiro envolve o método de extração modal, que considera os fatores mecânicos e de massa específicos da estrutura. O segundo consiste em um processo analítico para estimar aproximadamente o período natural. Caso utilize o primeiro processo, é fundamental que o período determinado seja inferior ao produto do coeficiente de limitação do período C_{up}, apresentado na Tabela 7, em função da zona sísmica à qual estrutura está inserida, multiplicado o período natural aproximado T_a, que é obtido pela equação a seguir:

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

$$T_a = C_t \, . \, h_n^x \quad (2)$$

Sendo:

C_t e x: parâmetros para definir o período da estrutura, variam de acordo com o método construtivo que será utilizado para resistir as forças sísmicas horizontais;

h_n: altura da estrutura acima da fundação (m);

Tabela 7 - Coeficiente de limitação do período

Zona sísmica	C_{up}
Zona 2	1,7
Zona 3	1,6
Zona 4	1,5

Fonte: ABNT NBR 15421:2023

2.3.7 Sistemas básicos sismos-resistentes

Os sistemas estruturais que são responsáveis por resistir aos feitos dos abalos sísmicos são denominados de sistemas básicos sismos-resistentes. A normativa brasileira classifica esses sistemas quanto ao detalhamento em três categorias: usuais, intermediários ou especiais. Essa classificação é baseada nos coeficientes de modificação de resposta R, amplificação C_d e sobre-resistência Ω_0. Tais coeficientes são necessários para determinar os esforços em elementos estruturais e demais deslocamentos na estrutura. A Tabela 8 apresenta os coeficientes de projeto a serem utilizados especificamente em edificações de concreto armado.

Ressalta-se que sistemas duais sismos-resistentes, são obtidos a partir da utilização de dois sistemas com diferentes características. Em geral, a composição dos sistemas duais é dada por um pórtico momento-resistente em conjunto a outro tipo de sistema. Em casos como esse, o pórtico momento-resistente resistirá a cerca de 25% da força sísmica total, sendo a divisão das forças entre os elementos dada de acordo com a rigidez relativa do elemento (LIMA; HAMPSHIRE, 2008).

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Tabela 8 - Coeficientes de projeto para diversos sistemas básicos sismo-resistentes

Sistema básico sismo-resistente	Coeficientes		
	R	Ω_0	C_d
Pilares-parede de concreto com detalhamento usual.	4	2,5	4
Pórticos de concreto com detalhamento usual.	3	3	2,5
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento usual e pilares-parede de concreto com detalhamento usual.	4,5	2,5	4
Estruturas do tipo pêndulo invertido e sistemas de coluna em balanço.	2,5	2	2,5

Fonte: Adaptado NBR 15421 (ABNT, 2023)

2.3.8 Requisitos para o projeto de edifícios

Todo edifício deve ser projetado com um sistema estrutural que ofereça adequada rigidez, resistência e capacidade de dissipação de energia em resposta às ações sísmicas, tanto na direção vertical quanto em duas direções horizontais ortogonais, incluindo mecanismos de resistência a esforços de torção (LIMA; HAMPSHIRE, 2008).

As ações sísmicas horizontais podem afetar a estrutura em qualquer direção. É fundamental projetar um sistema contínuo de transferência de cargas, com rigidez e resistência adequadas, para garantir a transferência das forças sísmicas desde os pontos de aplicação até as fundações da estrutura. Devem ser evitadas descontinuidades bruscas de rigidez ou resistência em planta ou elevação. Busca-se alcançar uma distribuição uniforme e contínua de resistência, rigidez e ductibilidade na estrutura. É importante evitar assimetrias significativas de massa e rigidez (LIMA; HAMPSHIRE, 2008).

Recomenda-se a utilização de sistemas estruturais com redundância, onde várias linhas de elementos sismorresistentes verticais estão conectadas entre si por meio de diafragmas horizontais altamente dúcteis. Essa redundância contribui para a robustez e capacidade de absorção de energia da estrutura frente a eventos sísmicos (LIMA; HAMPSHIRE, 2008).

2.3.9 Configuração estrutural

De acordo com a Norma 15421 (ABNT, 2023), as estruturas classificadas como categoria sísmica B e C podem ser subdivididas em regulares ou irregulares. As estruturas irregulares possuem um comportamento sismo-resistente menos eficiente, o que resulta em restrições na sua utilização e na aplicação de critérios de projeto mais rigorosos para garantir sua segurança.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Tais irregularidades podem ser observadas tanto no plano quanto na vertical, a Tabela 9 indica a descrição da irregularidade de acordo com o seu tipo, podendo ser classificada de 1 a 5. Caso a estrutura possua uma ou mais irregularidades tanto no plano quanto na vertical, deverá ser projetada considerando esse efeito nos parâmetros de análise sísmica.

Tabela 9 - Irregularidades estruturais

Tipo de irregularidade	Descrição da irregularidade
1	Irregularidade de torção ocorre quando, em uma elevação da estrutura, o deslocamento relativo do pavimento em uma extremidade, considerando a torção acidental, é superior a 1,2 vezes a média dos deslocamentos relativos de pavimento nas duas extremidades da estrutura ao longo do eixo analisado, medida transversalmente a esse eixo.
2	Descontinuidades na trajetória de resistência sísmica no plano, como elementos resistentes verticais consecutivos com eixos fora do mesmo plano.
3	Os elementos verticais do sistema sismo-resistente não são paralelos ou simétricos com relação aos eixos ortogonais principais deste sistema.
4	Descontinuidades na trajetória de resistência sísmica na vertical, como elementos resistentes verticais consecutivos no mesmo plano, mas com eixos afastados de uma distância maior de que seu comprimento ou quando a resistência entre elementos consecutivos é maior no elemento superior
5	Caracterização de um “pavimento extremamente fraco”, como aquele em que a sua resistência lateral é inferior a 65% da resistência do pavimento imediatamente superior. A resistência lateral é computada como a resistência total de todos os elementos sismo-resistentes presentes na direção considerada.

Fonte: NBR 15421 (ABNT, 2023)

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

2.4 Normativa Peruana - Norma E.030 *Diseño Sismorresistente*

Com o objetivo de se estabelecer condições mínimas para que o projeto de edifícios possua comportamento sismo-resistente no Peru, a normativa E030 (RNE, 2018) baseia-se em 3 principais filosofias e princípios:

a) Evitar perda de vidas humanas;
b) Garantir a continuidade na prestação de serviços básicos;
c) Minimizar os danos a estruturas;

De forma mais abrangente, a E030 (RNE, 2018) visa garantir que a estrutura não colapse e não cause danos graves a pessoas, ainda que possa apresentar danos significativos, devido a eventos sísmicos qualificados como severos.

Outro ponto importante é a estrutura suportar movimentos do solo de qualificação, podendo até causar danos reparáveis dentro de limites aceitáveis.

E por fim, garantir que edificações de uso essencial, tenham os esforços majorados em seus cálculos para que permaneçam em condição de funcionamento após um sismo severo.

2.4.1 Zoneamento sísmico peruano

Para abranger os critérios sismo-resistentes, a norma peruana (RNE, 2018) divide o território nacional em 4 zonas como indica a Figura 5. Para cada zona é dado um fator Z, o qual pode ser interpretado como a máxima aceleração gravitacional horizontal em um solo rígido, com uma probabilidade de 10% que o valor apresentado exceda em 50 anos. Os valores do fator Z são apresentados na Tabela 10.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 5 – Zoneamento sísmico do Peru



Fonte: E030 (RNE, 2018)

Tabela 10 - Fator Z

Zona	Z
1	0,10
2	0,25
3	0,35
4	0,45

Fonte: E030 (RNE, 2018)

2.4.2 Definição do perfil do terreno

A classificação do solo é dividida em cinco perfis: S_0 - Rocha dura; S_1 - Rocha ou solo muito rígido; S_2 - Solo intermediário; S_3 - Solo mole, e; S_4 - Corresponde a condições excepcionais como solo extremamente mole. Para o perfil S_4, a normativa recomenda que se faça um estudo mais específico da mecânica do solo.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Assim como na NBR 15421 (ABNT, 2023), a E030 (RNE, 2018) também classifica o perfil do terreno a partir da $\bar{v}_s$ e $\bar{N}$ golpes SPT. Entretanto, a normativa peruana também aborda o critério $\bar{S}_u$, o qual é definido como a média ponderada da resistência ao corte em condição drenada para caso de solos coesivos. Todas as condições citadas valem para os 30 metros superiores do perfil do terreno, destacando-se os limites de cada classificação na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação dos perfis do solo

Perfil	$\bar{v}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
S_0	≥ 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	<15	25kPA a 50kPA
S_4	Classificação embasada no estudo da mecânica do solo		

Fonte: E030 (RNE, 2018)

2.4.3 Definição de uso e ocupação da estrutura

A classificação da estrutura quanto ao seu uso e ocupação é feita de acordo com a importância de seu funcionamento perante a ocorrência de um fenômeno sísmico, o fator de majoração dos esforços a depender dessa classificação denomina-se como U. Em caso de edifício com isolamento sísmico em sua base, a norma E030 (RNE, 2018) permite adotar U=1.

De modo resumido a importância das edificações são divididas em 4 categorias, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Categoria das edificações e fator U

Categoria	Fator U
Essencial	1,5
Importante	1,3
Comum	1,0
Edificação temporária	(critério do projetista).

Fonte: Adaptado E030 (RNE, 2018)

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

2.4.4 Sistema estrutural sismo-resistente

Todos os elementos de concreto armado que compõem o sistema estrutural sismo-resistente devem atender às disposições do Capítulo 21 *Disposiciones especiales para el diseño sísmico* da Norma Técnica E.060 (RNE, 2019).

- Pórticos: Pelo menos 80% da força cortante na base atua nas colunas dos pórticos. No caso de paredes estruturais, elas devem ser projetadas para resistir a uma fração da ação sísmica total de acordo com sua rigidez.
- Paredes Estruturais: Sistema em que a resistência sísmica é predominantemente fornecida por paredes estruturais, sobre as quais atua pelo menos 70% da força cortante na base.
- Sistema misto: As ações sísmicas são resistidas por uma combinação de pórticos e paredes estruturais. A força cortante absorvida pelas paredes está entre 20% e 70% da força cortante na base do edifício. Os pórticos devem ser projetados para resistir a pelo menos 30% da força cortante na base.
- Edifícios de Paredes de Ductilidade Limitada (EMDL): Edifícios caracterizados por um sistema estrutural onde a resistência sísmica e de cargas gravitacionais é fornecida por paredes de concreto armado com espessuras reduzidas, dispensando extremidades confinadas e com armadura vertical disposta em uma única camada. Com esse sistema, é possível construir no máximo oito andares.

2.5 CAD/TQS – *SOFTWARE* DE CÁLCULO

O avanço acelerado das soluções tecnológicas exerce uma influência direta e significativa sobre as atividades profissionais e cotidianas, modificando profundamente a maneira como engenheiros estruturais executam suas análises e desenvolvem projetos. Juntamente às inovações tecnológicas, surgem novas abordagens para o dimensionamento e análise estrutural, o que proporciona mais segurança, economia e qualidade técnica aos projetos (Werneck, Souza, Lima, 2023).

Segundo Kimura (2007), os softwares pioneiros destinados à análise estrutural realizavam de forma automatizada cálculos relativamente simples, voltados especialmente para estruturas de concreto armado. Atualmente, o uso de computadores tornou-se imprescindível

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

em todas as etapas do desenvolvimento de um projeto estrutural, desde a concepção até a entrega final. A aplicação dessas ferramentas impacta diretamente a eficiência, a precisão e a conformidade às normas técnicas vigentes.

Nesse contexto, destaca-se a atuação da empresa TQS, que desde o lançamento de seus primeiros softwares evoluiu constantemente, desenvolvendo inicialmente o CAD/Vigas para dimensionamento e detalhamento das armaduras de vigas, seguido pelo CAD/Lajes, voltado especificamente ao detalhamento das armaduras das lajes. Posteriormente, na década de 1990, foi introduzido o CAD/Pilar, focado no cálculo, dimensionamento e detalhamento das armaduras de pilares com seções variadas. O sistema principal atualmente utilizado é o CAD/TQS, uma plataforma completa que integra múltiplas funcionalidades para a elaboração de projetos estruturais e geração de desenhos executivos detalhados, plenamente alinhado às exigências normativas brasileiras vigentes, como a NBR 6118:2023, e métodos tradicionais empregados no Brasil (Miranda e Silva, 2022).

Uma das principais características do CAD/TQS é sua capacidade de realizar análises dinâmicas avançadas, especialmente por meio do Modelo Estrutural IV, que considera a edificação como um pórtico espacial formado por barras representativas das vigas e pilares, incorporando integralmente o efeito de diafragma rígido das lajes. Tal modelo possibilita uma avaliação dinâmica precisa, permitindo realizar análises modais e espectrais, e fornecendo resultados confiáveis para o dimensionamento de estruturas resistentes a ações sísmicas, conforme os critérios das normas nacionais e internacionais vigentes. Esse recurso evidencia a relevância do *software* como ferramenta para garantir maior segurança, eficiência estrutural e cumprimento rigoroso dos parâmetros normativos em regiões sujeitas a atividades sísmicas.

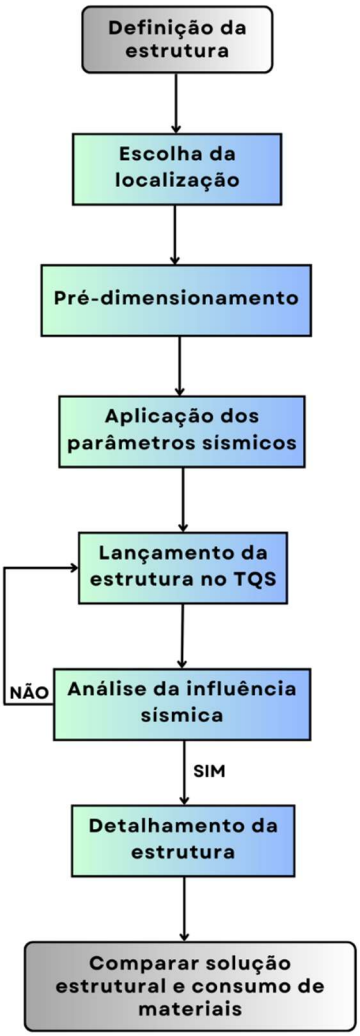
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

3. METODOLOGIA

Para uma compreensão aprofundada dos conceitos e métodos necessários para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de obter embasamento teórico. Nesse sentido, foi feita uma seleção criteriosa do material de estudo, verificando seu conteúdo de forma a utilizar apenas o que for cientificamente relevante. A pesquisa de artigos foi realizada ao longo de todas as etapas de elaboração do trabalho final.

Além disso, visando um dimensionamento e análise sísmica mais precisa, a Figura 6 apresenta o fluxograma com as etapas a serem seguidas.

Figura 6 - Fluxograma dos processos do trabalho



Fonte: Autor, 2025

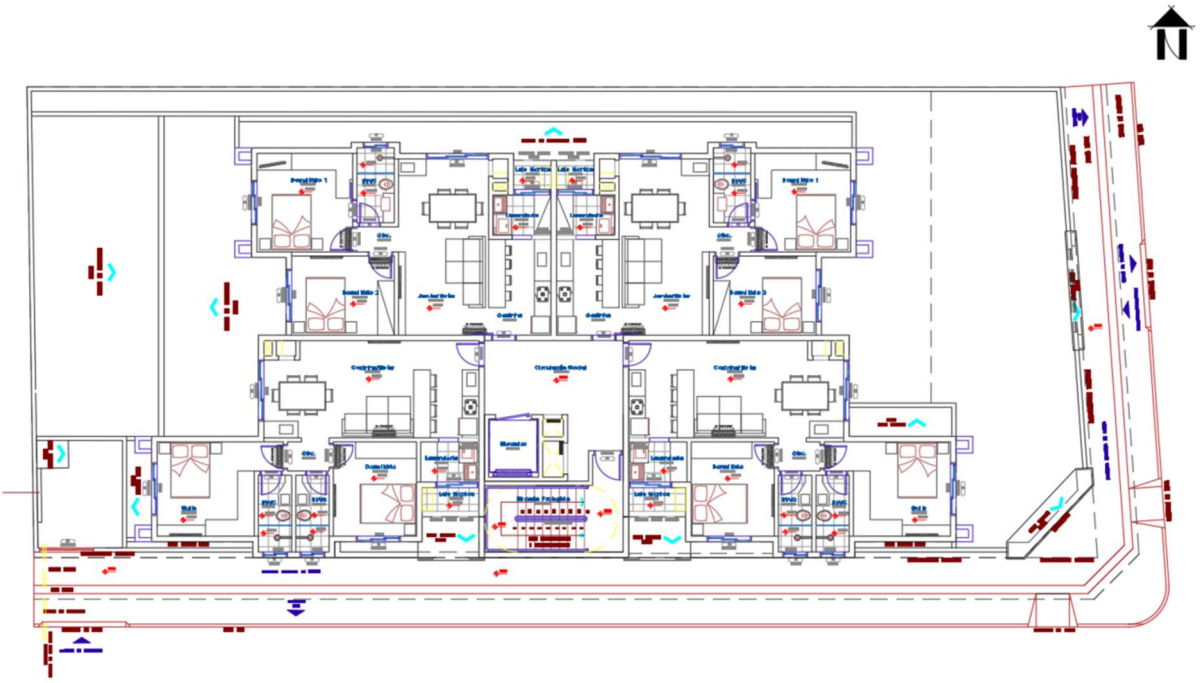
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foram desenvolvidos três modelos estruturais de uma edificação multifamiliar, contemplando diferentes cenários de projeto. O primeiro modelo não considerou a ação sísmica (Fortaleza, Brasil), enquanto o segundo e o terceiro foram dimensionados como sismo-resistentes conforme a normativa de cada país (Fortaleza - Brasil e Lima - Peru).

Na Figura 7 é apresentada a planta baixa do projeto arquitetônico, para uma melhor observação, esse material estará disponível no Apêndice A.

Figura 7 - Projeto arquitetônico



Fonte: Cortesia Conceito Arquitetura

O edifício possui 11 pavimentos, sendo composto por 10 pavimentos tipo e o ático. O terreno fictício possui 642,30 m² e a área construída da edificação é de 2587,03 m², sendo uma área de projeção de 478,74m². O pé-direito adotado na edificação é de 3,09 m, portanto, considerando o reservatório de água superior, a altura total do prédio 33,99m

A fim de verificar irregularidades tanto no plano quanto na vertical é interessante analisar a renderização do projeto arquitetônico (Figura 8). Além disso a renderização do

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

edifício serve de auxílio para realizar a compatibilização do projeto estrutural com o arquitetônico, visando elaborar o dimensionamento de maneira mais fiel possível.

Figura 8 - Renderização do edifício



Fonte: Cortesia Conceito Arquitetura

3.2 LOCALIZAÇÃO DE ESTUDO

A fim de variar a zona sísmica em que o edifício será inserido ficticiamente, foram definidas duas zonas distintas da América-Latina, nos países Brasil e Peru. Dessa forma, embasado pela normativa de ambos os países, foi possível aplicar uma aceleração máxima gravitacional horizontal distinta para cada país, sendo as cidades escolhidas Fortaleza e Lima, respectivamente.

Ressalta-se a ciência de que os países em estudo possuem características e condições socioeconômicas, geológicas e culturais diferentes, o que acarretaria diretamente em tomadas de decisão no projeto estrutural de um empreendimento como o descrito. Entretanto, para fins didáticos, foi adotado que ambos os países possuem características semelhantes, visto que o trabalho se destina a avaliar os projetos estruturais perante apenas a variação dos parâmetros sísmicos.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

3.3 PREMISSAS DE PROJETO

Para a modelagem das edificações, foram adotados os critérios estabelecidos pelas normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6123 (ABNT, 1988). Em todos os modelos, a velocidade do vento foi fixada em 30 m/s. O material empregado consiste em concreto armado com resistência característica f_{ck} de 30 MPa, associado aos aços CA-50 e CA-60. Os cobrimentos adotados foram definidos conforme a Tabela 13, considerando a classe de agressividade II e fatores atenuantes de rígido controle de qualidade de tolerância de medidas na obra. Vale destacar que o estudo se concentrou na avaliação da superestrutura do edifício, não abrangendo o dimensionamento dos elementos de fundação.

Tabela 13 - Cobrimentos

Elemento Estrutural	Cobrimento (cm)
Lajes	2
Vigas	2,5
Pilares	2,5

Fonte: Autor, 2025.

O modelo estrutural adotado no software TQS foi o IV, que representa o edifício como um pórtico espacial composto exclusivamente por barras que simulam vigas e pilares, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Ressalta-se que, por se tratar de um projeto acadêmico, será utilizado o dimensionamento automático das armaduras fornecido pelo CAD/TQS (TQS, 2023). Embora essa abordagem seja aceitável para fins de análise comparativa e avaliação do consumo de materiais, o dimensionamento automático não deve ser empregado em obras reais sem a devida supervisão do engenheiro calculista responsável.

3.3.1 Esforços e cargas considerados

Em todos os pavimentos do edifício, os carregamentos e esforços considerados foram uniformes nos três modelos dimensionados. O software TQS dispõe de carregamentos alfanuméricos preestabelecidos em suas configurações, conforme as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2014) os quais foram incorporados no modelo estrutural da seguinte maneira:

- Lajes: carga permanente de 0,100 tf/m² e carga acidental de 0,150 tf/m²;

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

- Patamares e escadas: carga permanente de 0,100 tf/m² e carga acidental de 0,300 tf/m²;
- Vigas: utilizou-se a carga alfanumérica definida para paredes de tijolo vazado de 15 cm (0,18 tf/m²), com a carga linear variando conforme a altura de cada parede;
- Laje da caixa d'água: carga permanente de 1,5 tf/m² e carga acidental de 0,100 tf/m²;
- Pilares: os carregamentos sobre os pilares foram obtidos a partir da área de influência e do processamento dos esforços realizado pelo TQS.

3.4 FERRAMENTA PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO

O *software* escolhido para realização deste projeto foi o CAD/TQS (TQS, 2023), pois sua aba de concreto armado possui módulo de análise sísmica trazendo inúmeras vantagens. Primeiramente, o software oferece precisão na análise sísmica, utilizando métodos avançados e normas atualizadas, inclusive a peruana, resultando em cálculos confiáveis e dimensionamento preciso da estrutura para resistir aos abalos sísmicos. Além disso, o TQS agiliza o processo de projeto com recursos automatizados, reduzindo o tempo necessário para realizar as análises e verificações estruturais.

Outra vantagem é a variedade de métodos de análise disponíveis, como análise estática equivalente, análise modal espectral e análise dinâmica não linear, permitindo avaliar diferentes tipos de carregamento sísmico e escolher a abordagem mais adequada. A interpretação visual dos resultados facilita a compreensão dos dados, enquanto a verificação automática das normas técnicas garante que a estrutura esteja em conformidade com os requisitos de segurança.

Por fim, o TQS conta com atualizações e suporte técnico, garantindo que o software esteja sempre atualizado e que os usuários tenham suporte em caso de dúvidas ou dificuldades. Em suma, o TQS proporciona uma análise sísmica eficiente, contribuindo para projetos estruturais de concreto armado mais seguros e eficazes contra os efeitos dos sismos.

3.5 MODELAGEM ESTRUTURAL

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Com base na estrutura projetada, foram modelados três casos no CAD/TQS (TQS, 2023), designados como caso 1, 2 e 3. O caso 1 corresponde a um pórtico espacial localizado em Fortaleza, Brasil, sem considerar os efeitos sísmicos. O caso 2 consiste no modelo do caso 1 com a inclusão da aceleração sísmica, conforme a NBR 15421 (ABNT, 2023). Já o caso 3 utiliza o modelo do caso 1, porém com alteração da localização para Lima, Peru, e incorpora os efeitos sísmicos específicos da região, em conformidade com a norma peruana E030.

Visando aproximar o projeto da realidade, buscou-se preservar integralmente o partido arquitetônico, restringindo as dimensões dos pilares sempre que possível para que sejam integrados às paredes. As lajes foram dimensionadas como maciças em concreto armado, e todos os elementos estruturais forma modelados com o objetivo de otimizar a relação custo-benefício, considerando o consumo de concreto e aço, de acordo com as exigências de cada caso.

3.6 DEFINIÇÃO DO ESPECTRO DE PROJETO

3.6.1 Normativa brasileira

A versão V23 do CAD/TQS (TQS, 2023) não integra a NBR 15421 (ABNT, 2023) em seu sistema. Dessa forma, o cálculo para a definição do espectro de projeto foi realizado manualmente, e os resultados obtidos serviram como parâmetro de entrada para o s*oftware* de cálculo estrutural.

Conforme o zoneamento sísmico brasileiro ilustrado na Figura 4, Fortaleza encontra-se na Zona 1, onde a aceleração sísmica horizontal característica normalizada é estabelecida em $a_g = 0{,}05\ g$. Ademais, a Tabela 4 define o terreno como classe D, correspondendo a um solo rígido com $50 \geq \overline{N_{spt}} \geq 15$.

Para a determinação do espectro de resposta do projeto, são utilizados a_g e a classe do terreno, como parâmetros de entrada na Tabela 5 a fim de obter os coeficientes de amplificação sísmica do solo C_a e C_v.

Dessa forma, as acelerações espectrais para os períodos de 0,0s e 1,0s podem ser determinadas por meio das Equações 2 e 3, respectivamente, e o espectro de projeto foi definido com base no conjunto formado pelas Equações 4, 5, 6 e 7.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

3.6.2 Normativa Peruana

A normativa peruana E030 (RNE, 2018) encontra-se integrada à versão V23 do CAD/TQS (TQS, 2023); assim, a definição do espectro de projeto requer apenas a especificação dos parâmetros de entrada.

De acordo com o zoneamento sísmico peruano, Lima está situada na Zona 4, conforme ilustrado na Figura 5, onde a aceleração sísmica horizontal característica normalizada é definida como $a_g = 0{,}45\ g$. O solo adotado foi do tipo s_2, considerado intermediário conforme a Tabela 11, selecionado para manter a consistência com as características do modelo brasileiro. Com base nessas informações, o software efetuou o cálculo automático do espectro de resposta do projeto.

3.7 ANÁLISE MODAL E ESPECTRAL

A análise modal e espectral foi conduzida através de uma avaliação dinâmica dos modelos 2 e 3, utilizando o software CAD/TQS (TQS, 2023), com o intuito de comparar a frequência natural, os modos de vibração, os deslocamentos e as reações na estrutura.

3.7.1 Normativa brasileira

Utilizando o programa CAD/TQS (TQS, 2023), empregou-se como parâmetros de entrada o espectro de resposta do projeto, calculado de acordo com a NBR 15421 (2023). Foram definidas duas direções horizontais perpendiculares, designadas X e Y, orientadas, respectivamente, a 90º e 270º, com taxa de amortecimento de 5%.

O método adotado para o cálculo da resposta máxima em cada direção foi o da Combinação Quadrática Completa (CQC), e para a obtenção da resposta resultante, utilizou-se a técnica da Raiz Quadrada da Soma dos Quadrados (SRSS).

Para a determinação das respostas modais na análise espectral, os resultados obtidos em termos de forças, momentos e reações de apoio foram ajustados pelo fator I/R, conforme os valores indicados nas Tabelas 5 e 6, que apresentam o fator de importância da edificação e o sistema básico sismo-resistente utilizado.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

3.7.2 Normativa peruana

A versão V23 do CAD/TQS (TQS, 2023) integra a norma peruana E030 (RNE, 2018) em seu sistema. Assim, basta definir o tipo de edificação, a tipologia estrutural, as direções atuantes, a irregularidade em planta e a taxa de amortecimento. Com os dados inseridos e o espectro de resposta correspondente, o programa realiza a análise dinâmica da estrutura, fornecendo os deslocamentos, frequências e modos de vibração, já ponderados pelos fatores estabelecidos na norma peruana.

Os métodos adotados para o cálculo da resposta máxima em uma direção e para a determinação da resultante das respostas foram os mesmos aplicados na normativa brasileira, utilizando, respectivamente, a Combinação Quadrática Completa (CQC) e a técnica da Raiz Quadrada da Soma dos Quadrados (SRSS).

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são expostos os resultados do dimensionamento estrutural dos três modelos, englobando a modelagem da estrutura, o cálculo do espectro de resposta, a análise modal e espectral, e a comparação das estruturas quanto a seção de pilares e consumo de materiais. Outrossim, são apresentados comentários sobre os principais achados decorrentes da análise realizada.

4.1 DIMENSIONAMENTO E MODELAGEM ESTRUTURAL

Toda a etapa de análise estrutural e modelagem dos edifícios foi efetuada no software *CAD/TQS* (TQS, 2023), sendo que os modelos e plantas apresentados a seguir foram extraídos a partir de compatibilização com *REVIT* (Autodesk, 2023).

4.1.1 Modelo 1

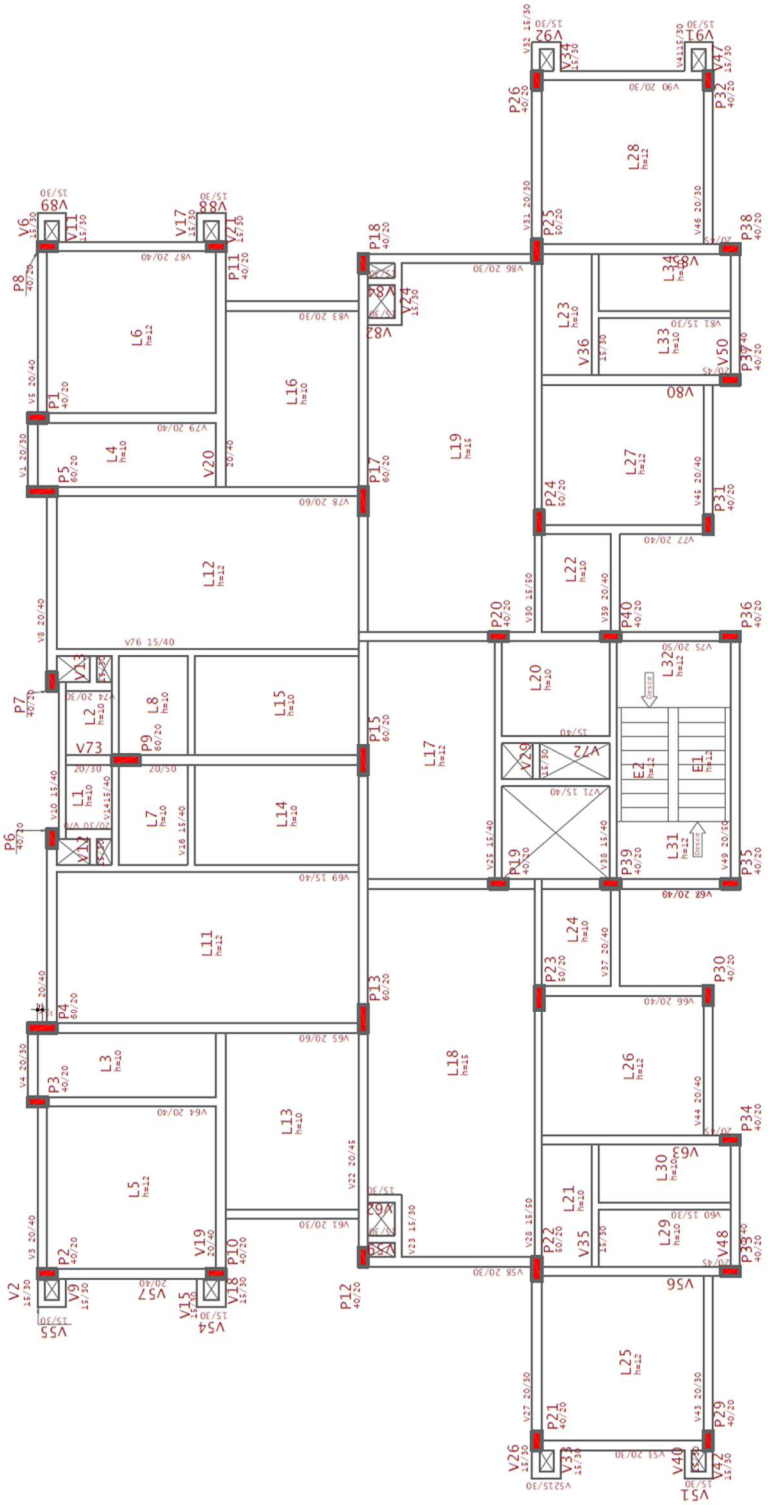
A Figura 9 exibe a planta de formas do pavimento tipo do modelo 1, a qual pode ser visualizada em maior escala no Apêndice B juntamente com o projeto estrutural completo do edifício. Conforme mencionado anteriormente, a concepção estrutural foi definida de modo a interferir minimamente na arquitetura, limitando-se as dimensões dos pilares à largura das paredes.

Esta abordagem conceitual servirá de base para os modelos 2 e 3, sendo realizadas apenas as adaptações necessárias para corrigir eventuais inconsistências identificadas no processamento do edifício pelo *software* de cálculo. Os pilares foram dimensionados com seção retangular, de forma que o lado de maior inércia contribua para a estabilidade global da edificação. Optou-se por não padronizar as dimensões dos elementos estruturais, a fim de refletir as condições de um projeto real e otimizar a economia de materiais, assegurando o melhor custo-benefício entre o consumo de concreto e aço.

O edifício é composto por 40 pilares, com seções variando entre 20×40 cm e 20×60 cm, conforme as necessidades específicas de cada área, e por 92 vigas, cujas seções variam de 15×30 cm, 20×30 cm até 20×50 cm. As lajes, todas maciças, apresentam espessuras intercaladas de 10 cm, 12 cm, e, para as maiores, 15 cm (L18 e L19).

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 9 - Planta de formas (Modelo 1)



Fonte: Autor, 2025

A variação nos índices de densidade de pilares e nos comprimentos médios de vãos apresentados na Tabela 14 refletem as diferenças de *layout* e de uso em cada pavimento. O

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

ático, por exemplo, possui menor área, entretanto, com espaços mais amplos, o que se traduz em vãos maiores, ao passo que os pavimentos de cobertura e tipo apresentam distribuição mais regular de pilares e menores distância entre apoios, alinhadas às necessidades funcionais e arquitetônicas de cada nível.

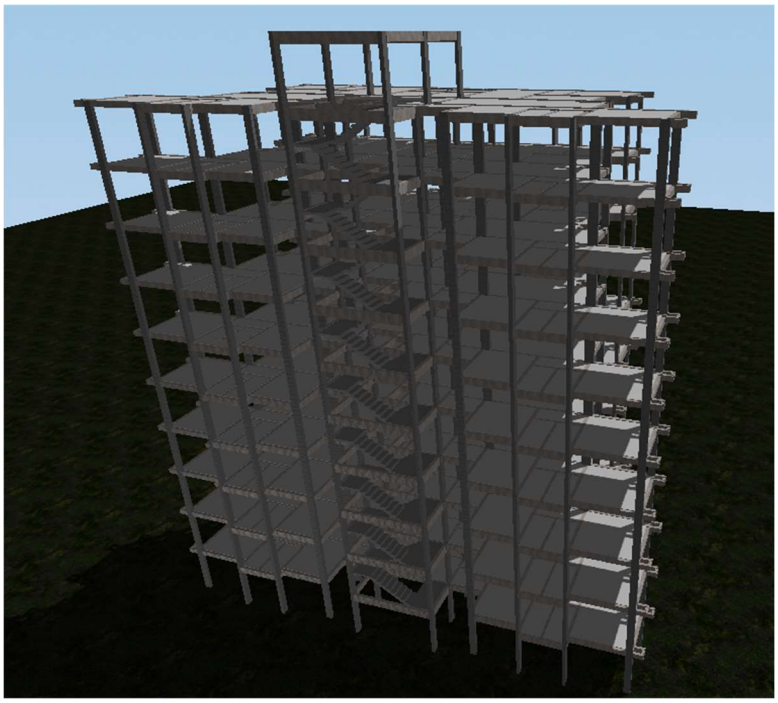
Tabela 14 - Densidade de pilares e vãos médios (Modelo 1)

Pavimento	Densidade de pilares (m²)	Vão médio (cm)	
		Vigas	Lajes
Ático	7.21	409.1	391
Pav cobertura	7.93	239.6	213.4
Pav tipo	8.81	239.4	213.4

Fonte: Autor, 2025

Na Figura 10, pode-se observar a modelagem 3D da edificação, incluindo os *shafts* externos, constituídos por três pequenas vigas de 15×30 cm, com comprimento médio de 50 cm. A presença desses *shafts* eleva significativamente o número de vigas no projeto e interfere na análise dos vãos médios das vigas.

Figura 10 - Modelagem 3D do edifício (Modelo 1)



Fonte: Autor, 2025

O modelo foi avaliado quanto à estabilidade global e aos deslocamentos horizontais, conforme evidenciado nas Tabelas 15 e 16. Considerando a tipologia estrutural com nós

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

móveis, foi analisado o parâmetro GamaZ, que reflete a estabilidade sem considerar os deslocamentos horizontais decorrentes das cargas verticais. Adicionalmente, avaliou-se o FAVt, fator que amplifica os esforços horizontais, incorporando os deslocamentos horizontais gerados pelas cargas verticais.

Tabela 15 - Parâmetros de estabilidade global (Modelo 1)

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1.146
FAVt	1.198
Alfa	0.929

Fonte: Autor, 2025

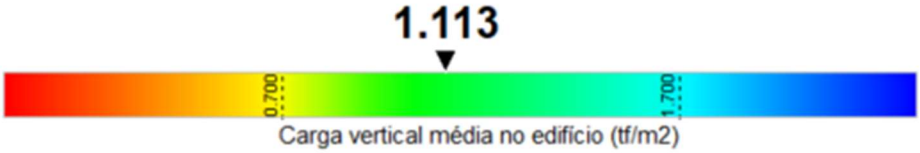
Tabela 16 - Deslocamentos horizontais ELS (Modelo 1)

Deslocamento	Valor máximo (cm)	Referência (cm)	Situação
Topo do edifício (cm)	(*H* / 3909) 0.87	(*H* / 1700) 2.00	ok
Entre pisos (cm)	(*Hi* / 2437) 0.13	(*Hi* / 850) 0.36	ok

Fonte: Autor, 2025

Por fim, ao final do processamento o *software* apresenta a carga média do edifício por metro quadrado, conforme ilustrado na Figura 11. A indicação em verde denota uma condição próxima da ideal, em que a carga vertical favorece a estabilidade global da edificação sem afetar a viabilidade econômica decorrente do uso excessivo de concreto.

Figura 11 - Carga média vertical (Modelo 1)



Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

4.1.2 Modelo 2

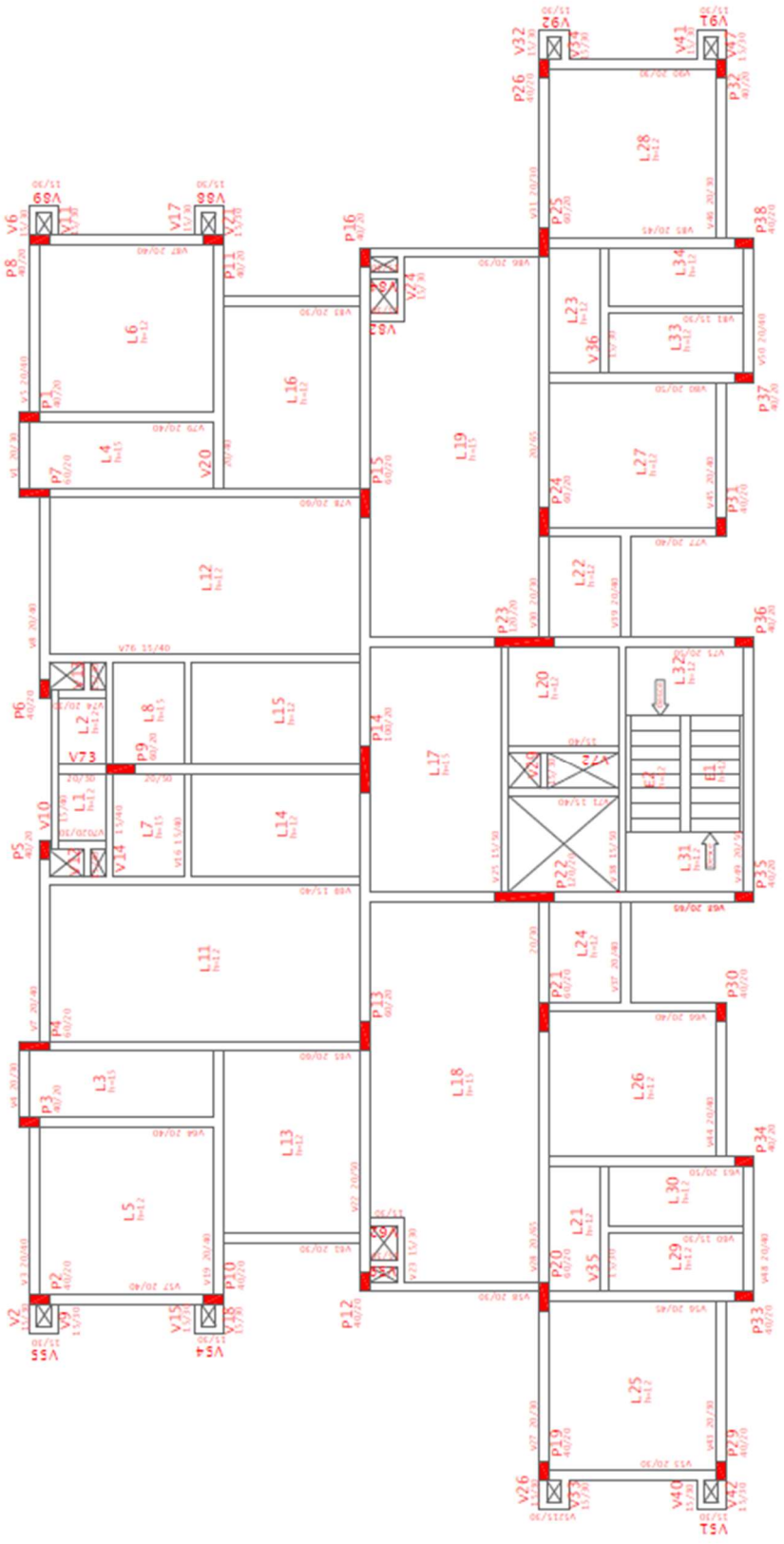
Na planta de formas do pavimento tipo do modelo 2, apresentada na Figura 12 e ampliada no Apêndice C, observa-se a modificação na seção dos pilares. Embora o efeito sísmico no Brasil seja subestimado, a análise dinâmica aplicada à concepção estrutural do modelo 1 evidenciou instabilidade.

Assim, para atender aos critérios das NBR 6118 (ABNT, 2018) e NBR 15421 (ABNT, 2023) e assegurar a estabilidade global da edificação, foi implementado um núcleo rígido no centro de gravidade, composto por três pilares-parede com seções de 100×20 cm (P14) e 120×20 cm (P22 e P23).

Adicionalmente, para aumentar a rigidez estrutural, as seções dos principais elementos foram alteradas. Com a inclusão dos pilares-parede, a quantidade de pilares foi reduzida em dois, totalizando 38 no pavimento tipo, com seções variando entre 20×40 cm e 120×20 cm.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 12 - Planta de formas (Modelo 2)

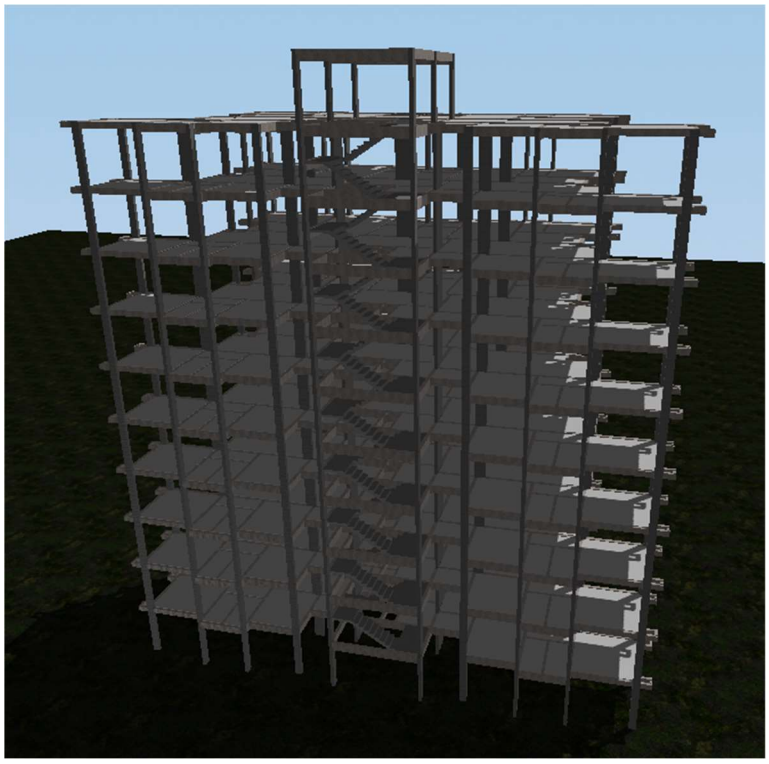


Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

As vigas e lajes também foram modificadas para mitigar vibrações na edificação. Embora o número de elementos tenha permanecido inalterado, as seções das vigas passaram a variar de 15×30 cm até 20×65 cm (V30). No que tange às lajes maciças, onde anteriormente algumas apresentavam 10 cm de altura, a altura mínima foi estabelecida em 12 cm, mantendo-se 15 cm para as maiores.

Figura 13 - Modelagem 3D do edifício (Modelo 2)



Fonte: Autor, 2025

A partir do modelo 3D apresentado na Figura 13, constata-se que, embora o modelo 2 tenha sido desenvolvido com concepção sismo-resistente, não se verificam alterações visuais significativas em comparação com o modelo anterior.

No que tange à estabilidade global, o edifício passou a atender aos parâmetros normativos após as modificações realizadas na planta (Tabela 17). Em relação aos deslocamentos horizontais, a implementação do núcleo de rigidez e o enrijecimento dos elementos estruturais resultaram em valores inferiores aos obtidos no modelo 1, conforme demonstrado na Tabela 18.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Tabela 17 - Parâmetros de estabilidade global (Modelo 2)

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1.115
FAVt	1.167
Alfa	0.878

Fonte: Autor, 2025

Tabela 18 - Deslocamentos horizontais ELS (Modelo 2)

Deslocamento	Valor máximo (cm)	Referência (cm)	Situação
Topo do edifício (cm)	(*H* / 5360) 0.63	(*H* / 1700) 2.00	ok
Entre pisos (cm)	(*Hi* / 3367) 0.09	(*Hi* / 850) 0.36	ok

Fonte: Autor, 2025

Devido à remoção dos pilares P39 e P40, presentes no modelo 1, verificou-se uma alteração nas características de densidade dos pilares e nos vãos médios das vigas e lajes, ocasionando um leve incremento nos parâmetros, conforme demonstrado na Tabela 19.

Por fim, o incremento na rigidez estrutural resultou em um aumento na carga vertical média do edifício, conforme ilustrado na Figura 14. Embora o valor obtido seja superior ao registrado no modelo 1, ele permanece dentro da faixa considerada ótima pelo *software* de análise estrutural.

Tabela 19 - Densidade de pilares e vãos médios (Modelo 2)

Pavimento	Densidade de pilares (m²)	Vão médio (cm)	
		Vigas	Lajes
Ático	7.21	409.1	391
Pav cobertura	8,35	243,3	209.7
Pav tipo	9,34	244,6	213.2

Fonte: Autor, 2025

Por fim, o incremento na rigidez estrutural resultou em um aumento na carga vertical média do edifício, conforme ilustrado na Figura 14. Embora o valor obtido seja superior ao registrado no modelo 1, ele permanece dentro da faixa considerada ótima pelo *software* de análise estrutural.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 14 - Carga média vertical (Modelo 2)



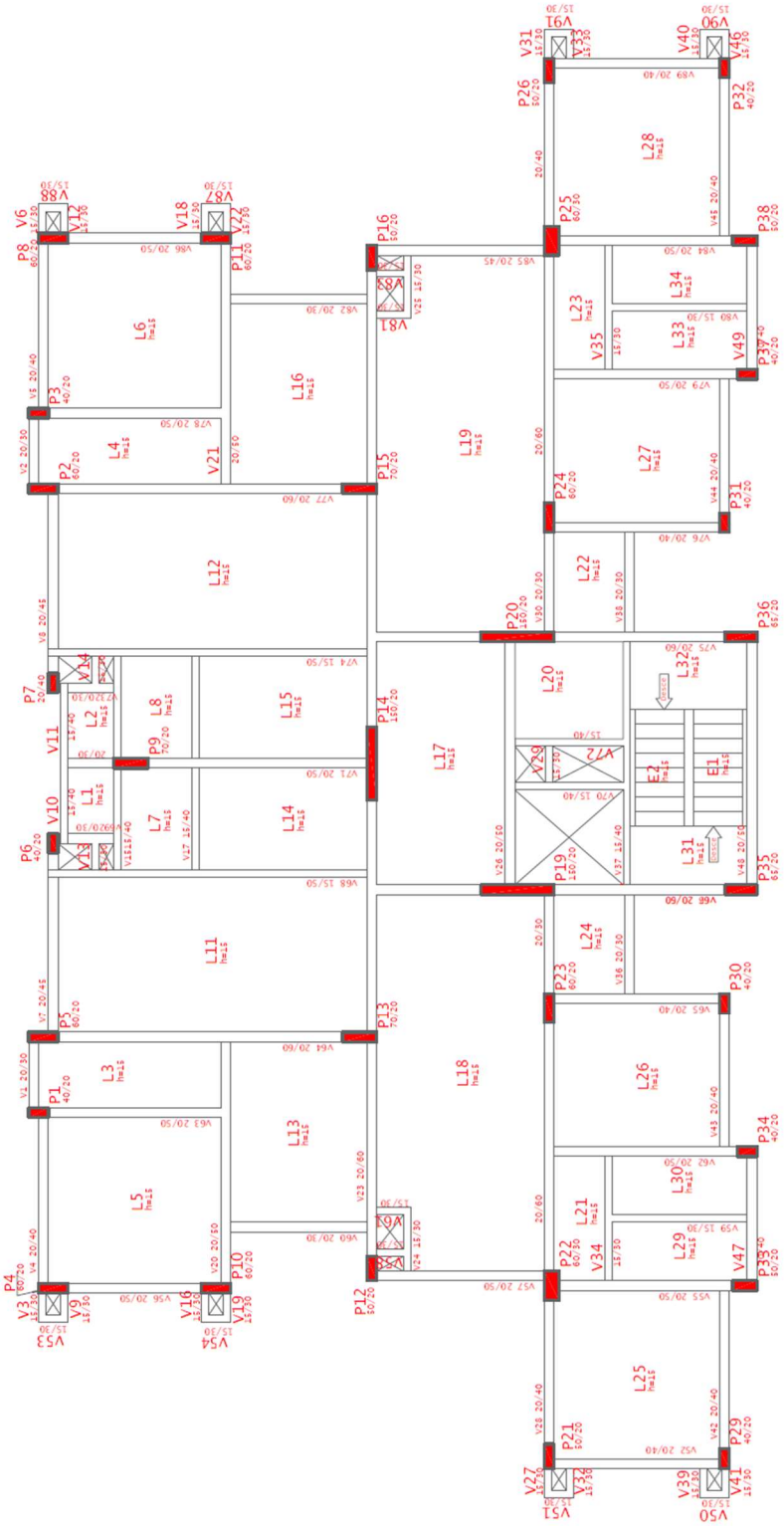
Fonte: Autor, 2025

4.1.3 Modelo 3

Comparando com o modelo 2, a planta de formas do terceiro modelo, apresentada na Figura 15 e ampliada no Apêndice D, apresenta modificações significativas, destacando-se a rotação dos pilares P13 e P15, bem como o aumento da seção transversal desses pilares na direção de maior inércia, com o intuito de aprimorar a rigidez estrutural e reduzir os efeitos de instabilidade provocados pelas ações sísmicas no Peru.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 15 - Planta de formas (Modelo 3)



Fonte: Autor, 2025

Em geral, à medida que a aceleração sísmica da região aumenta, torna-se necessário incrementar a rigidez do edifício; por isso, a seção da maioria dos elementos estruturais foi

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

ampliada. Destaca-se que os três pilares-parede, componentes do núcleo de rigidez (P14, P19 e P20), tiveram sua seção ajustada para 150×20 cm, enquanto os pilares P22 e P25 foram dimensionados com seção de 30×60 cm, fato que ocasionou um ressalto em uma das faces da parede de 20 cm de espessura, contrariando a premissa adotada de embutir os pilares nas paredes.

Para o presente caso, foi imperativo aumentar a espessura de todas as lajes, que passaram a ser dimensionadas com 15 cm, enquanto as vigas apresentaram variações mínimas em relação ao modelo 2.

De modo que a planta foi essencialmente mantida, preservando a concepção estrutural anterior, os índices de densidade dos pilares e os vãos médios, conforme demonstrado na Tabela 20, não evidenciaram variações significativas.

Tabela 20 - Densidade de pilares e vãos médios (Modelo 3)

Pavimento	Densidade de pilares (m²)	Vão médio (cm)	
		Vigas	Lajes
Ático	7.21	314,9	391
Pav cobertura	8,35	241,2	209,5
Pav tipo	9,34	241,2	212,8

Fonte: Autor, 2025

Mantendo a abordagem adotada no modelo 2, o incremento na rigidez, exigido para suportar as vibrações decorrentes da aceleração sísmica na região de implantação, resultou na redução dos deslocamentos horizontais tanto no topo da edificação quanto entre os pavimentos, além de manter os parâmetros de estabilidade global dentro dos limites normativos, conforme demonstrado nas Tabelas 21 e 22.

Tabela 21 - Parâmetros de estabilidade global (Modelo 3)

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1.097
FAVt	1.16
Alfa	0.904

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

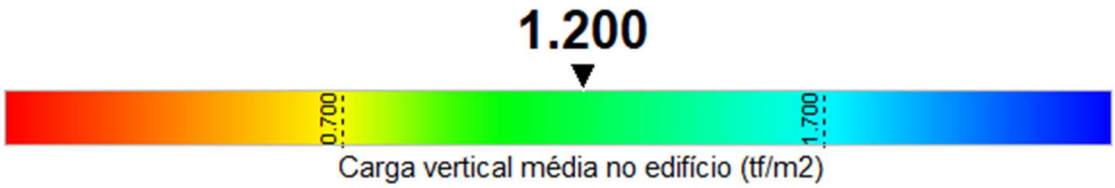
Tabela 22 - Deslocamentos horizontais ELS (Modelo 3)

Deslocamento	Valor máximo (cm)	Referência (cm)	Situação
Topo do edifício (cm)	(*H* / 10290) 0.33	(*H* / 1700) 2.00	ok
Entre pisos (cm)	(*Hi* / 5336) 0.06	(*Hi* / 850) 0.36	ok

Fonte: Autor, 2025

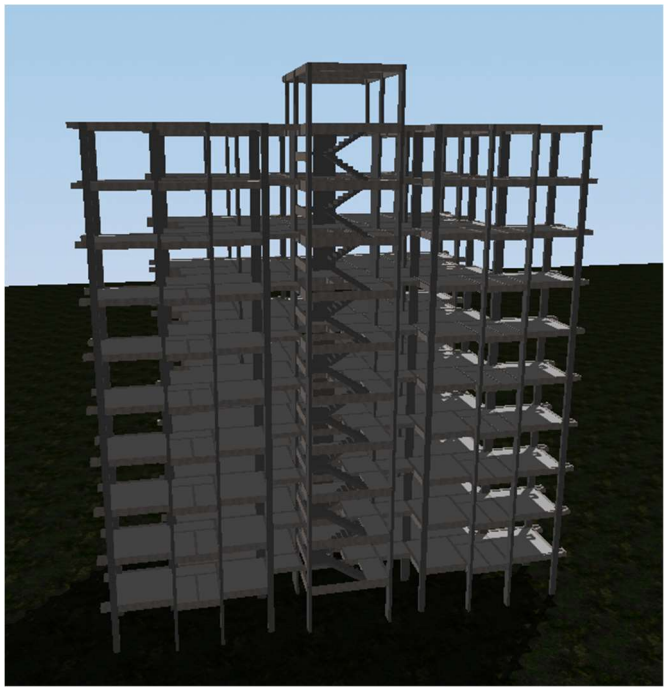
Todavia, o incremento na rigidez estrutural acarretou um leve acréscimo na carga vertical média da edificação. Contudo, tal valor, conforme ilustrado na Figura 16, permanece dentro da faixa considerada ótima pelo software de análise estrutural, em consonância com os modelos anteriores.

Figura 16 - Carga média vertical (Modelo 3)



Fonte: Autor, 2025

Figura 17 - Modelagem 3D do edifício (Modelo 3)



Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

4.2 ESPECTRO DE PROJETO

4.2.1 Modelo 2

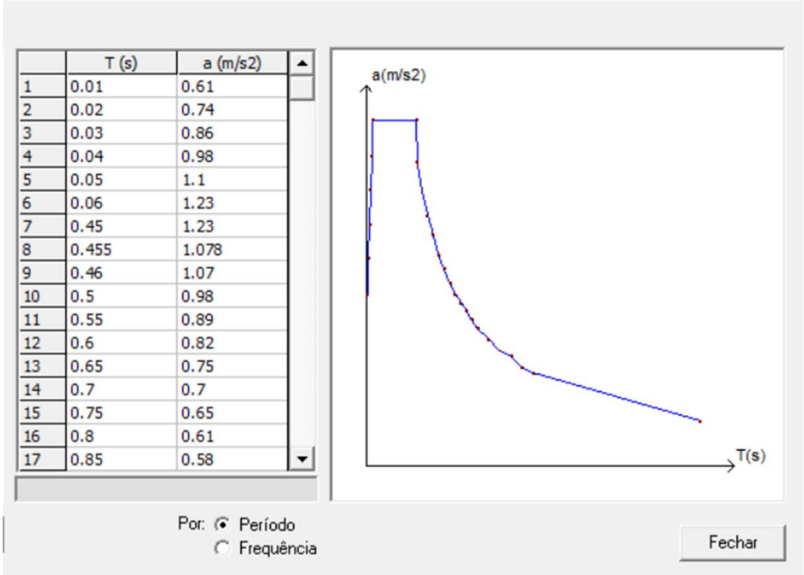
De acordo com a metodologia descrita nas seções 2.3.4 e 3.6.1, foram determinados os parâmetros necessários para a definição do espectro de resposta, os quais estão apresentados na Tabela 23. O espectro de projeto, calculado com base nas Equações 4, 5, 6 e 7, encontra-se ilustrado na Figura 18.

Tabela 23 - Parâmetros do espectro de projeto (Modelo 2)

C_a	C_v	a_g (m/s²)	a_{gs0} (m/s²)	a_{gs1} (m/s²)
1,6	2,4	0,4905	0,7848	0,8829

Fonte: Autor, 2025

Figura 18 - Espectro de resposta do projeto (Modelo 2)



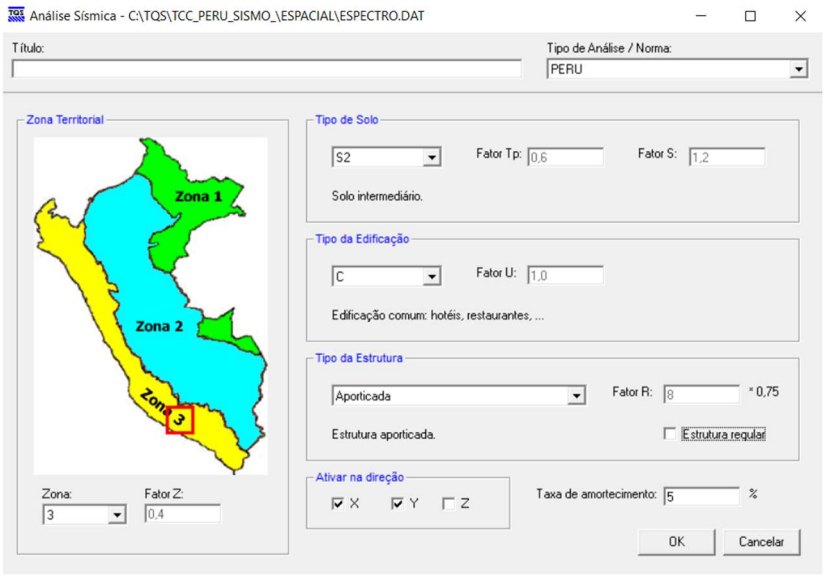
Fonte: Autor, 2025

4.2.2 Modelo 3

O espectro de projeto para o modelo 3 foi gerado diretamente no software CAD/TQS, conforme a metodologia descrita na seção 3.6.2, mediante a integração do programa com a norma peruana E030 (RNE, 2018). Os resultados dessa análise estão ilustrados nas Figuras 19 e 20, as quais ilustram imagens do sistema CAD/TQS.

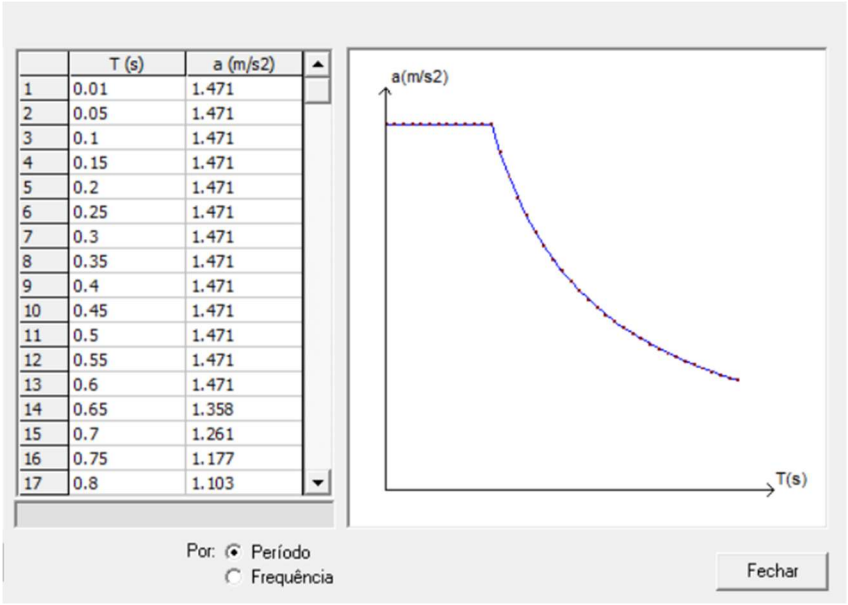
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 19 - Definição dos parâmetros de entrada do espectro de projeto (Modelo 3)



Fonte: Autor, 2025

Figura 20 - Espectro de resposta do projeto (Modelo 3)



Fonte: Autor, 2025

4.3 ANÁLISE MODAL E ESPECTRAL

4.3.1 Modelo 2

Na análise modal espectral do modelo 2, realizada conforme a Seção 3.7.1, o software determina o peso sísmico da edificação e o respectivo centro de massa. Em seguida, calcula os

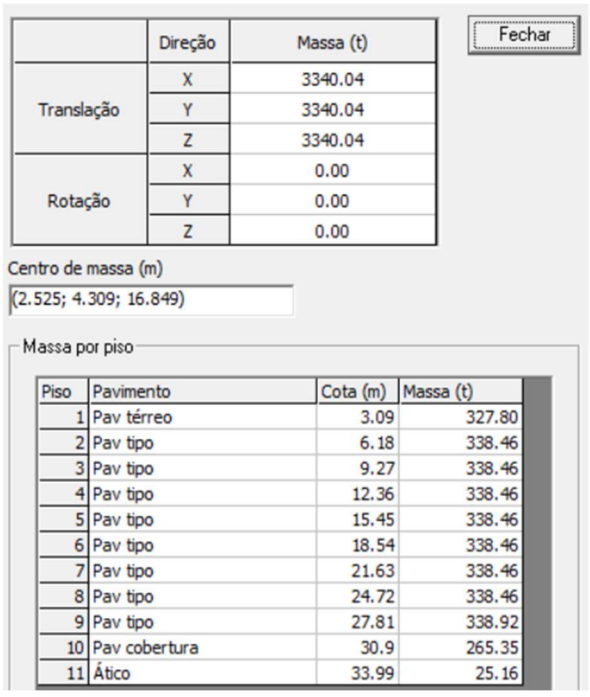
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

modos de vibração, definindo o período, a frequência e o autovalor de cada modo, conforme ilustrado nas Figuras 21 e 22.

Os dados demonstram que o primeiro modo de vibração (modo 1) apresenta o maior período e, portanto, a menor frequência, correspondendo à vibração fundamental da edificação. Nos modos subsequentes, há uma redução progressiva dos períodos e um aumento das frequências, caracterizando vibrações de ordem superior, normalmente associadas a movimentos localizados ou secundários. A variação dos autovalores acompanha esse padrão, indicando a quantidade de energia associada a cada modo de vibração.

Como pode ser visualizado na Figura 23, a adoção do núcleo de rigidez próximo ao centro de massa sísmica visa equilibrar a distribuição das forças inerciais ao longo do edifício, reduzindo a excentricidade entre o centro de gravidade e o centro de rigidez. Essa configuração mitiga a ocorrência de torções excessivas, uma vez que os elementos resistentes estão posicionados de maneira mais uniforme em relação às cargas dinâmicas

Figura 21 - Peso sísmico da estrutura (Modelo 2)



	Direção	Massa (t)
Translação	X	3340.04
	Y	3340.04
	Z	3340.04
Rotação	X	0.00
	Y	0.00
	Z	0.00

Fechar

Centro de massa (m)

(2.525; 4.309; 16.849)

Massa por piso

Piso	Pavimento	Cota (m)	Massa (t)
1	Pav térreo	3.09	327.80
2	Pav tipo	6.18	338.46
3	Pav tipo	9.27	338.46
4	Pav tipo	12.36	338.46
5	Pav tipo	15.45	338.46
6	Pav tipo	18.54	338.46
7	Pav tipo	21.63	338.46
8	Pav tipo	24.72	338.46
9	Pav tipo	27.81	338.92
10	Pav cobertura	30.9	265.35
11	Ático	33.99	25.16

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Figura 22 - Modos de vibração (Modelo 2)

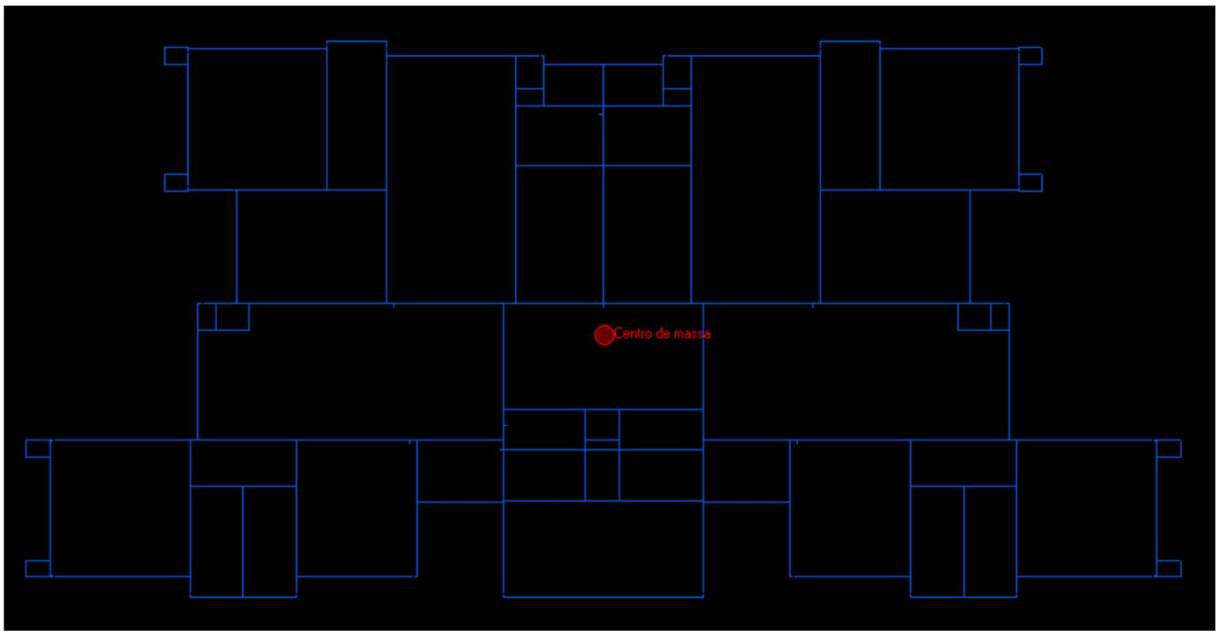
Modos de Vibração

Modo de Vibração	Período (s)	Frequência (Hz)	Frequência (rad/s)	Autovalor
01	2.368	0.422	2.653	7.038
02	1.999	0.5	3.144	9.883
03	1.933	0.517	3.251	10.566
04	1.594	0.628	3.943	15.546
05	0.767	1.305	8.197	67.187
06	0.635	1.576	9.9	98.005
07	0.629	1.59	9.989	99.774
08	0.434	2.304	14.478	209.613
09	0.379	2.636	16.564	274.373
10	0.347	2.883	18.112	328.044

Fechar

Fonte: Autor, 2025

Figura 23 - Centro de massa (Modelo 2)



Fonte: Autor, 2025

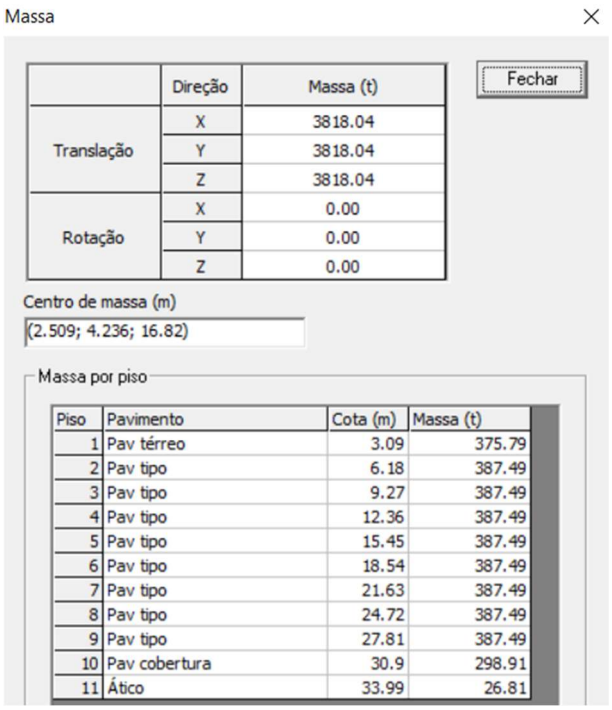
Além disso, ao concentrar os pilares-parede na região central, minimiza-se a diferença de deslocamentos entre os pavimentos, favorecendo o comportamento global da estrutura. Observa-se também que os modos de vibração de ordem inferior—geralmente associados à vibração fundamental—tendem a exibir menores excentricidades e, portanto, deslocamentos reduzidos. Por outro lado, nos modos superiores, embora a edificação possa apresentar movimentações localizadas, a presença de um núcleo rígido central contribui para limitar a amplitude dessas vibrações, garantindo um desempenho dinâmico mais estável e homogêneo.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

4.3.2 Modelo 3

Na análise modal espectral do modelo referente ao cenário peruano, realizada conforme a metodologia descrita na Seção 3.7.2, o software determina o peso sísmico da edificação e o respectivo centro de massa. Em seguida, calcula os modos de vibração, conforme ilustrado nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 - Peso sísmico da estrutura (Modelo 3)

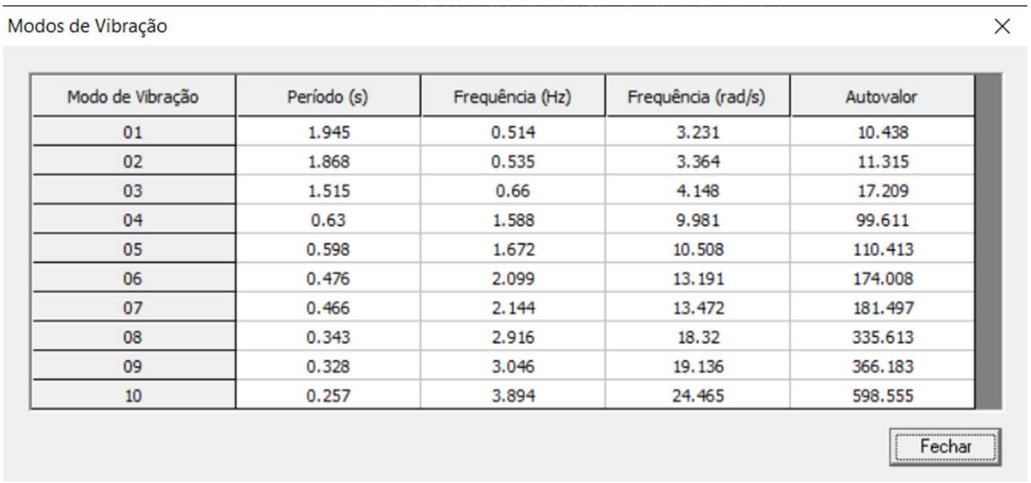


	Direção	Massa (t)
Translação	X	3818.04
	Y	3818.04
	Z	3818.04
Rotação	X	0.00
	Y	0.00
	Z	0.00

Piso	Pavimento	Cota (m)	Massa (t)
1	Pav térreo	3.09	375.79
2	Pav tipo	6.18	387.49
3	Pav tipo	9.27	387.49
4	Pav tipo	12.36	387.49
5	Pav tipo	15.45	387.49
6	Pav tipo	18.54	387.49
7	Pav tipo	21.63	387.49
8	Pav tipo	24.72	387.49
9	Pav tipo	27.81	387.49
10	Pav cobertura	30.9	298.91
11	Ático	33.99	26.81

Fonte: Autor, 2025

Figura 25 - Modos de vibração (Modelo 3)



Modo de Vibração	Período (s)	Frequência (Hz)	Frequência (rad/s)	Autovalor
01	1.945	0.514	3.231	10.438
02	1.868	0.535	3.364	11.315
03	1.515	0.66	4.148	17.209
04	0.63	1.588	9.981	99.611
05	0.598	1.672	10.508	110.413
06	0.476	2.099	13.191	174.008
07	0.466	2.144	13.472	181.497
08	0.343	2.916	18.32	335.613
09	0.328	3.046	19.136	366.183
10	0.257	3.894	24.465	598.555

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Os dados referentes ao sismo no Peru indicam períodos ligeiramente menores e frequências mais elevadas em comparação àqueles obtidos para o Brasil, refletindo um sistema estrutural mais rígido ou sujeito a demandas sísmicas superiores. No primeiro modo de vibração, por exemplo, o período reduziu de aproximadamente 2,37 s (Brasil) para 1,95 s (Peru), o que resulta em uma frequência maior (de cerca de 0,42 Hz para 0,51 Hz). Esse comportamento tende a evidenciar a necessidade de uma concepção estrutural mais robusta para lidar com a aceleração sísmica mais intensa na região peruana.

Além disso, observa-se que os autovalores, relacionados à energia associada a cada modo, são superiores no cenário peruano, o que reforça a ideia de maior severidade sísmica. Em síntese, a estrutura modelada para Lima apresenta vibrações fundamentais mais rápidas e maior rigidez, características compatíveis com a exigência de suportar ações sísmicas de maior intensidade em comparação ao contexto brasileiro.

4.4 COMPARATIVO DE MATERIAIS

4.4.1 Seção dos pilares

A variação na seção dos pilares ao longo dos três modelos decorre das diferentes exigências de cada cenário, sobretudo no que se refere à consideração ou não de ações sísmicas e à intensidade dessas ações. No primeiro modelo, que desconsidera os efeitos sísmicos, as dimensões adotadas atendem às solicitações usuais de cargas gravitacionais. No segundo modelo, mesmo com um sismo relativamente leve, foi necessário ampliar a seção de alguns pilares e implementar elementos de rigidez adicionais, de modo a conter deslocamentos excessivos e manter a estabilidade global. Já no terceiro modelo, as maiores demandas sísmicas exigiram um incremento ainda mais significativo nas seções, garantindo rigidez estrutural suficiente para suportar as ações dinâmicas mais intensas, preservar a estabilidade global e limitar a deformação excessiva.

Tabela 24 - Seção dos pilares

PILAR	SEÇÃO (cm)			PILAR	SEÇÃO (cm)		
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3		MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
P1	20x40	20X40	20x40	P21	20x40	20X40	20x50
P2	20x40	20X40	20x60	P22	20x50	20X60	30x60
P3	20x40	20X40	20x40	P23	20x50	20X60	20x60
P4	20x60	20X60	20x60	P24	20x50	20X60	20x60

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

P5	20x60	20X60	20x60	P25	20x50	20X60	30x60
P6	20x40	20X40	20x40	P26	20x40	20X40	20x50
P7	20x40	20X40	20x40	P27	20x40	20X40	20x40
P8	20x40	20X40	20x60	P28	20x40	20X40	20x40
P9	20x60	20X60	20x70	P29	20x40	20X40	20x40
P10	20x40	20X40	20x60	P30	20x40	20X40	20x40
P11	20x40	20X40	20x60	P31	20x40	20X40	20x40
P12	20x40	20X40	20x50	P32	20x40	20X40	20x40
P13	20x60	20X60	20x70	P33	20x40	20X40	20x50
P14	20x40	20X40	20x40	P34	20x40	20X40	20x40
P15	20x60	20X100	20x150	P35	20x40	20X40	20x65
P16	20x40	20X40	20x40	P36	20x40	20X40	20x65
P17	20x60	20X60	20x70	P37	20x40	20X40	20x40
P18	20x40	20X40	20x50	P38	20x40	20X40	20x50
P19	20x40	20X120	20x150	P39	20x40	-	-
P20	20x40	20X120	20x150	P40	20x40	-	-

Fonte: Autor, 2025

A Tabela 24 ilustra a evolução das dimensões dos pilares nos três modelos estruturais propostos. No Modelo 1, que não considera a ação sísmica, predomina a seção 20×40 cm, com variações pontuais de 20×50 cm e 20×60 cm em alguns pilares estratégicos. Já no Modelo 2, incorporou-se o efeito sísmico brasileiro, exigindo um acréscimo de rigidez em certos pilares (por exemplo, P15, P19 e P20), o que se reflete no aumento das seções para valores como 20×100 cm ou 20×120 cm.

Por fim, o Modelo 3, destinado à análise de uma região com maior demanda sísmica, demandou seções ainda mais robustas em diversos pilares. Observa-se, por exemplo, o incremento para 20×70 cm (P9, P13, P17) e até 20×150 cm (P15, P19, P20). Além disso, alguns pilares receberam seções diferenciadas, como 30×60 cm (P22, P25), para melhorar a inércia no sentido principal de atuação sísmica.

A remoção dos pilares P39 e P40 no Modelo 2 e Modelo 3 deve-se à readequação da concepção estrutural, que buscou manter o equilíbrio entre o aumento de rigidez e a redução de interferências na arquitetura. Em síntese, essas alterações refletem a necessidade de reforçar a estrutura para lidar com as ações dinâmicas de cada cenário, equilibrando estabilidade global e otimização de materiais.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

4.4.2 Consumo de materiais

Os três modelos de edificação evidenciam variações significativas no consumo de materiais, as quais estão diretamente relacionadas às diferentes exigências sísmicas e às modificações nas concepções estruturais adotadas para cada cenário. As Tabelas 25 a 27 apresentam os valores absolutos e as taxas por metro quadrado referentes ao consumo de concreto, fôrmas e aço em cada um dos cenários analisados.

Tabela 25 - Resumo do consumo e taxas (Modelo 1)

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m^3)	Taxa (m^3/m^2)	Consumo (m^2)	Taxa (m^2/m^2)	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/m^2)	Taxa (kgf/m^3)
Ático	7,78	0,18	87,63	2,023	491	11,34	63,09
Pav cobertura	61,21	0,19	621,83	1,96	3999	12,6	65,33
Pav tipo	489,76	0,19	4973,29	1,959	40131	15,81	81,94
Pav térreo	59,48	0,19	610,99	1,976	7525	24,33	126,52
TOTAL	618,23	0,19	6293,74	1,961	52146	24,33	84,35

Fonte: Autor, 2025

Tabela 26 - Resumo do consumo e taxas (Modelo 2)

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m^3)	Taxa (m^3/m^2)	Consumo (m^2)	Taxa (m^2/m^2)	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/m^2)	Taxa (kgf/m^3)
Ático	7,78	0,18	87,63	2,023	541	12,5	69,57
Pav cobertura	65,4	0,21	629,9	1,986	4388	13,83	67,1
Pav tipo	525,62	0,21	5057,82	1,99	45213	17,79	86,02
Pav térreo	63,57	0,21	617,48	1,996	7685	24,85	120,89
TOTAL	662,37	0,21	6392,83	1,991	57828	18,01	87,3

Fonte: Autor, 2025

Tabela 27 - Resumo do consumo e taxas (Modelo 3)

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m^3)	Taxa (m^3/m^2)	Consumo (m^2)	Taxa (m^2/m^2)	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/m^2)	Taxa (kgf/m^3)
Ático	7,64	0,18	86,21	1,991	679	15,67	88,77
Pav cobertura	75,13	0,24	661,88	2,084	5291	16,66	70,41
Pav tipo	601,76	0,24	5294,49	2,083	65347	25,71	108,59
Pav térreo	73,06	0,24	649,53	2,1	12167	39.33	166,54
TOTAL	757,6	0,24	6692,11	2,084	83483	25,99	110,19

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

No Modelo 1, a estrutura foi projetada exclusivamente para suportar cargas gravitacionais e forças de uso normais, resultando em dimensões menores para os elementos estruturais, como pilares com seções em torno de 20×40 cm. Consequentemente, os consumos de concreto, formas e aço são os mais reduzidos entre os modelos analisados.

No Modelo 2, foram implementados reforços estruturais que exigiram o aumento das seções dos pilares (variando, por exemplo, de 20×40 cm até 20×120 cm) e o espessamento das lajes, com o intuito de reduzir a deformabilidade e garantir maior estabilidade da edificação. Esse aprimoramento estrutural eleva, de maneira moderada, o consumo de concreto, formas e aço, refletindo a necessidade de maior rigidez para resistir às ações sísmicas previstas no cenário brasileiro.

O Modelo 3, por sua vez demanda um reforço estrutural substancial. Nesse caso, os pilares e vigas foram significativamente redimensionados – por exemplo, passando de 20×60 cm para 20×150 cm – e as lajes foram dimensionadas com maior espessura, enquanto o núcleo de rigidez, composto por pilares-parede de dimensões ampliadas, foi incorporado para assegurar a estabilidade global. Tais adaptações resultaram no maior consumo de materiais entre os três modelos, especialmente em termos de concreto e aço, evidenciando o impacto das forças dinâmicas intensas e a necessidade de garantir a integridade estrutural.

Essas diferenças de consumo podem ser atribuídas diretamente às variações nas exigências estruturais impostas pela intensidade sísmica de cada local de implantação. Enquanto o Modelo 1, ao não considerar os efeitos sísmicos, apresenta uma solução econômica, sua estrutura seria potencialmente vulnerável em caso de sismo. O Modelo 2, ao incorporar reforços para um sismo moderado, eleva os custos com materiais, mas proporciona uma melhoria significativa na segurança estrutural. No Modelo 3, a alta demanda sísmica impõe a utilização de volumes substancialmente maiores de materiais, o que, embora aumente os custos, é imprescindível para assegurar a resistência e a durabilidade da edificação frente a eventos dinâmicos intensos.

Tabela 28 - Variação percentual de consumo de materiais

Modelo	Concreto (m^3)	Variação em relação ao modelo 1	Formas (m^2)	Variação em relação ao modelo 1	Aço (kgf)	Variação em relação ao modelo 1
M1	618,23	-	6293,74	-	52146	-
M2	662,37	+ 7,14%	6392,83	+ 1,57%	57283	+ 9,85%
M3	757,6	+ 22,54%	6692,11	+ 6,33%	83483	+ 60,12%

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Em suma, o consumo geral de materiais é mais elevado no Modelo 3, seguido pelo Modelo 2, enquanto o Modelo 1 apresenta os menores valores. Essas variações evidenciam a relação direta entre as exigências sísmicas, as adaptações estruturais necessárias e os impactos econômicos, configurando um equilíbrio entre segurança, robustez e otimização de custos.

4.4.3 Comparação de custo

Ao comparar o custo de cada projeto, adotou-se a tabela Sinapi de janeiro de 2025 como referência para os valores dos insumos, considerando exclusivamente o consumo de materiais, sem contabilizar a mão de obra. Para o concreto, manteve-se a mesma classe de resistência nos três modelos, optando-se pelo fornecimento de concreto usinado bombeável, sem incluir a mão de obra de lançamento.

No caso do aço, empregou-se o código SINAPI 43058, que corresponde a uma média das bitolas CA-50 de 10 mm, 12,5 mm, 16 mm e 20 mm, as mais utilizadas neste projeto. A fim de simplificar o processo, estendeu-se esse valor também às bitolas de aço CA-60 de 5 mm e 6,3 mm, cujo a disparidade de valor, é pouco expressiva, de modo que não afetaram significativamente o orçamento final.

Por fim, para as formas, visando excluir o custo relativo à mão de obra, foi elaborada uma composição específica, descrita na Tabela 29, com base na SINAPI 92264 (2025/01). Essa abordagem possibilitou a comparação dos custos diretos de materiais em cada modelo, destacando o impacto das diferentes concepções estruturais.

Cotação do dólar 13/03/2025: R$6,05.

Tabela 29 - Composição de fabricação de fôrmas (COMP-01)

				COMP-01 VALOR TOTAL: R$134,92	
Código	**Descrição**	**Unidade**	**Coeficiente**	**Valor unitário**	**Valor total**
1345	CHAPA/PAINEL DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA (MADEIRITE PLASTIFICADO) PARA FORMA DE CONCRETO, DE 2200 X 1100 MM, E = *17* MM	M2	1,336	R$ 69,35	R$ 92,65
4491	PONTALETE *7,5 X 7,5* CM EM PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	2,308	R$ 6,99	R$ 16,13
5068	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 17 X 21 (2 X 11)	KG	0,208	R$ 17,29	R$ 3,60
4517	SARRAFO *2,5 X 7,5* CM EM PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	9,237	R$ 2,44	R$ 22,54

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Para a elaboração do orçamento de cada modelo (Tabelas 30 a 32), utilizou-se como referência o resumo dos quantitativos de materiais (Tabela 28) e aplicado os valores da SINAPI. No que tange à fabricação das fôrmas, considerou-se a reutilização de cada unidade em quatro ciclos, de forma que o valor referente à área de fôrmas calculada foi dividido por quatro na determinação do orçamento.

Tabela 30 - Orçamento de materiais (Modelo 1)

Código	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1525	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, COM BOMBEAMENTO (DISPONIBILIZACAO DE BOMBA), SEM O LANCAMENTO (NBR 8953)	M3	618,23	R$ 517,61	R$ 320.002,03
COMP-01	FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E=18MM	M2	1573,44	R$ 134,92	R$ 212.287,85
43058	ACO CA-50, 10,0 MM, OU 12,5 MM, OU 16,0 MM, OU 20,0 MM, DOBRADO E CORTADO	KG	52146	R$ 7,68	R$ 400.481,28

Fonte: Autor, 2025

Tabela 31 - Orçamento de materiais (Modelo 2)

Código	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1525	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, COM BOMBEAMENTO (DISPONIBILIZACAO DE BOMBA), SEM O LANCAMENTO (NBR 8953)	M3	662,37	R$ 517,61	R$ 342.849,34
COMP-01	FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E=18MM	M2	1598,21	R$ 134,92	R$ 215.630,16
43058	ACO CA-50, 10,0 MM, OU 12,5 MM, OU 16,0 MM, OU 20,0 MM, DOBRADO E CORTADO	KG	57283	R$ 7,68	R$ 439.933,44

Fonte: Autor, 2025

Tabela 32 - Orçamento de materiais (Modelo 3)

Código	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1525	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, COM BOMBEAMENTO (DISPONIBILIZACAO DE BOMBA), SEM O LANCAMENTO (NBR 8953)	M3	757,6	R$ 517,61	R$ 392.141,34
COMP-01	FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E=18MM	M2	1673,03	R$ 134,92	R$ 225.724,87
43058	ACO CA-50, 10,0 MM, OU 12,5 MM, OU 16,0 MM, OU 20,0 MM, DOBRADO E CORTADO	KG	83483	R$ 7,68	R$ 641.149,44

Fonte: Autor, 2025

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

A análise do custo de materiais destacada na Tabela 33 revela que o Modelo 1, considerado como referência, apresenta o menor valor, estimado em R$ 932.771,16. Em comparação, o Modelo 2 exibe um acréscimo de 7,03% (R$ 998.412,93), atribuído à necessidade de reforços estruturais decorrentes da ação sísmica moderada. Já o Modelo 3, projetado para uma região de maior severidade sísmica, atinge R$ 1.259.015,65, resultando em um incremento de 34,97% em relação ao Modelo 1. Essa elevação mais expressiva no custo total de materiais está diretamente associada ao consumo adicional de concreto, formas e aço, necessários para garantir maior rigidez e segurança estrutural frente a cargas dinâmicas mais intensas. Dessa forma, os resultados evidenciam a influência das concepções estruturais e das exigências normativas em cada cenário, apontando para a necessidade de equilibrar critérios de segurança, desempenho e viabilidade econômica ao se escolher o modelo mais adequado.

Tabela 33 - Resumo orçamentário

Modelo	Custo de materiais	Variação em relação ao modelo 1
M1	R$ 932.771,16	-
M2	R$ 998.412,93	+ 7,03%
M3	R$ 1.259.015,65	+ 34,97%

Fonte: Autor, 2025

4.4.3.1 Custo por metro quadrado

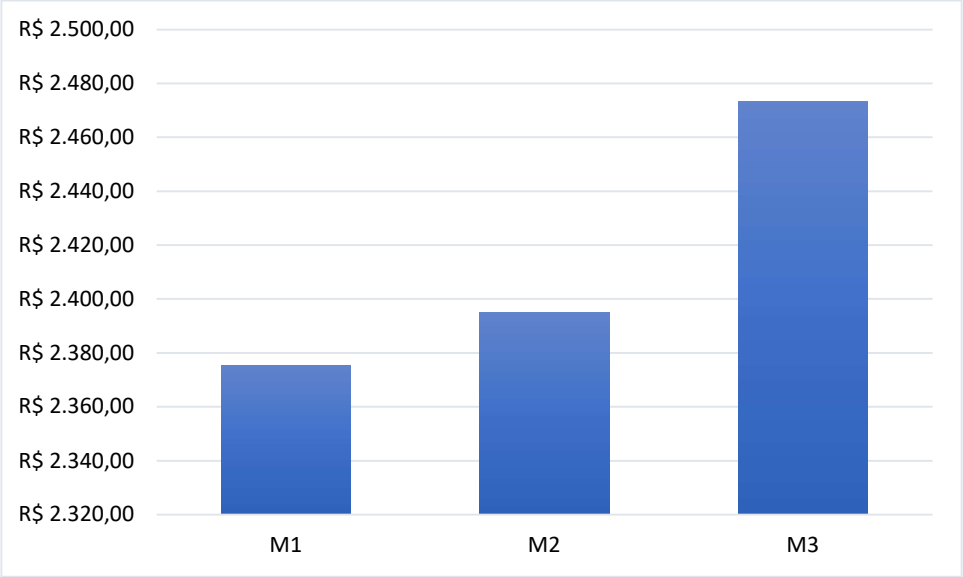
Tomando como referência para análise do custo global da obra o Custo Unitário Básico (CUB) referente ao mês de fevereiro de 2025, foi realizada uma avaliação financeira comparativa com o intuito de verificar o impacto econômico gerado pela adoção de soluções estruturais sismo-resistentes.

O Modelo 1, utilizado como base comparativa, enquadra-se na categoria R16-N do CUB, que representa edifícios multifamiliares com até 16 pavimentos-tipo e padrão de acabamento normal. O valor unitário estabelecido para fevereiro de 2025 é de R$ 2.375,35 por metro quadrado. Considerando a área total do edifício estudado, equivalente a 3.329,20 m², o custo total de construção do Modelo 1 alcança o montante de R$ 7.908.015,22.

Ao incorporar exclusivamente a variação decorrente do consumo dos materiais aço, concreto e formas nos modelos estruturais avaliados, obteve-se as diferenças de custo apresentadas no Gráfico 1.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Gráfico 1 – Custo global por m²



Fonte: Autor, 2025

O gráfico apresentado evidencia o impacto financeiro gerado pela adoção das soluções sismo-resistentes propostas. O modelo convencional (M1), sem consideração sísmica, apresentou o menor custo, totalizando R$ 2.375,35/m². Ao incorporar os efeitos sísmicos moderados no modelo intermediário (M2), o custo teve uma leve elevação, alcançando R$ 2.395,07/m², resultando em um incremento de aproximadamente 0,83% em relação ao modelo inicial. Já no modelo dimensionado para uma região de alta sismicidade (M3), conforme norma peruana, observou-se o maior custo, atingindo R$ 2.473,34/m², representando um acréscimo significativo de 4,13% em relação ao modelo convencional.

Observa-se que, embora frequentemente negligenciada por engenheiros brasileiros, a implementação de uma análise sísmica com o devido dimensionamento de projetos sismo-resistentes não gera impactos financeiros significativos quando analisado o custo global da edificação. Para o caso estudado, verificou-se um acréscimo total de apenas 0,83% em relação ao custo inicial, demonstrando a viabilidade econômica da adoção dessa metodologia projetual.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi destacado neste trabalho que, embora eventos de grande magnitude não sejam tão frequentes no Brasil, a análise sísmica não pode ser negligenciada na execução de projetos estruturais em regiões fora da Zona 0, conforme estabelecido pela NBR 15421 (ABNT, 2023). Ainda que as acelerações espectrais no Brasil sejam inferiores às observadas em países vizinhos, como o Peru, a aplicação de uma análise dinâmica rigorosa demonstrou o impacto significativo da concepção estrutural na estabilidade e no desempenho das edificações, contribuindo para um ambiente mais seguro e confortável aos usuários.

A comparação dos três modelos estruturais revelou que o dimensionamento dos elementos estruturais – pilares, vigas e lajes – deve ser adaptado às exigências sísmicas específicas de cada localidade. Enquanto o Modelo 1, concebido sem considerar efeitos sísmicos, apresentou menor consumo de materiais e soluções economicamente vantajosas, revelou-se também mais vulnerável a carregamentos dinâmicos. Em contrapartida, os Modelos 2 e 3, que incorporaram respectivamente um sismo moderado (Brasil) e uma sismicidade intensa (Peru), demonstraram aumentos expressivos no consumo de concreto, formas e aço. Essa elevação nos insumos refletiu-se diretamente nos custos, com acréscimos de até 7,03% no Modelo 2 e 34,97% no Modelo 3 em comparação ao Modelo 1, reforçando a necessidade de ponderar segurança estrutural e viabilidade financeira.

Ao realizar a análise do custo global da obra com base no Custo Unitário Básico (CUB) de fevereiro de 2025, constatou-se que o impacto financeiro global da implementação de um projeto sismo-resistente no Brasil, representado pelo Modelo 2, mostrou-se pouco significativo, adicionando apenas 0,83% ao custo final da edificação. Esse resultado indica claramente a viabilidade econômica da adoção dos critérios estabelecidos pela norma técnica brasileira para garantir maior segurança estrutural frente a eventos sísmicos moderados.

Adicionalmente, a integração das metodologias de análise modal e espectral com o uso de ferramentas computacionais avançadas como o software CAD/TQS (TQS, 2023) possibilitou uma avaliação detalhada do comportamento dinâmico das estruturas. A identificação precisa dos modos de vibração, aliada à consideração dos efeitos de inércia, permitiu implementar estratégias de reforço estruturais essenciais para otimizar a resposta sísmica, como a inserção de núcleos de rigidez e redimensionamento de seções.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Em síntese, o emprego de softwares de cálculo estrutural constitui-se em ferramenta indispensável no desenvolvimento de projetos estruturais, possibilitando análises detalhadas, verificação da conformidade normativa e elaboração de desenhos técnicos com elevado grau de precisão. Contudo, permanece essencial a atuação direta e especializada do engenheiro projetista para que os resultados automatizados sejam interpretados e adaptados às reais condições de projeto. Os resultados obtidos evidenciam, portanto, a necessidade de uma abordagem integrada, que combine rigor técnico, eficiência econômica e estrita conformidade normativa, resultando em edificações robustas e capazes de enfrentar adequadamente os desafios impostos pelas ações sísmicas.

Para trabalhos futuros sugere-se analisar a viabilidade econômica da implementação de sistemas estruturais alternativos, como estruturas mistas aço-concreto, em regiões de moderada e alta sismicidade. Outro aspecto relevante para pesquisas posteriores seria o impacto no dimensionamento das fundações em edificações localizadas em zonas sísmicas ativas. Por fim, recomenda-se também ampliar a análise aplicando métodos que considerem a não linearidade geométrica.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismos.** Rio de Janeiro, 2023.

CARVALHO, J. M**. Determinação de parâmetros de fonte de eventos sísmicos no Brasil Central.** 7 jun. 2019.

CLOUGH, R. W.; PENZIEN, J. **Dynamics of structures, computers & structures.** New York, 1995.

HURTADO VALDEZ, P. **Los sismos y la restauración del patrimonio en tierra en Perú.** In: TERCER CONGRESO INTERNACIONAL DE ARQUITECTURA DE TIERRA, Cuenca de Campos, Valladolid, 11-12 ago. 2006.

KIMURA, **A. Informática aplicada ao cálculo de estruturas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SANTOS, S. H. C e SOUZA LIMA, S**. Análise dinâmica das estruturas.** Rio de Janeiro, 2008.

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

LOPES, A. E. D. V.; NUNES, L. C**. Intensidades sísmicas no Brasil e a vulnerabilidade socioeconômica.** Revista USP, São Paulo, n.91, p.90-103, nov. 2011.

MIRANDA, R.; SILVA, E. **Softwares estruturais na engenharia civil moderna.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2022.

NÓBREGA, P.; NÓBREGA, S. **Perigo sísmico no Brasil e a responsabilidade da engenharia estrutural.** Revista Brasileira de Engenharia Estrutural, v. 4, p. 162-175, set. 2016.

OLIVER-SMITH, A. **Perú, 31 de mayo, 1970: terremoto y desastre social.** Lima: Fondo Editorial PUCP, 1994.

PÉREZ ZARCO, A. J. **Propuesta de modificación de la escala de intensidades modificada de Mercalli (M.M.I.) para Guatemala**. Guatemala: Universidad del Valle, 2002.

SENCICO. 2018. **Norma Técnica de Edificación E.030, Diseño Sismorresistente.** Reglamento Nacional de Construcciones.

SILVA, E. M. et al. **Educação sísmica como instrumento pedagógico em escolas públicas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.36, p.529-537, jun. 2021.

TAVERA, H.; BUFORN, E. **Evaluación del peligro sísmico en Perú y análisis histórico de eventos.** Revista Peruana de Geofísica, Lima, v.3, p.48-62, 1998.

VELOSO, J. A. V. **O terremoto que mexeu com o Brasil: João Câmara (RN), um estudo de caso.** Rio de Janeiro: Thesaurus, 2012.

WILSON, E. L. **Three-dimensional static and dynamic analysis of structures.** 3ª ed. Berkeley: Computers & Structures, 2002.

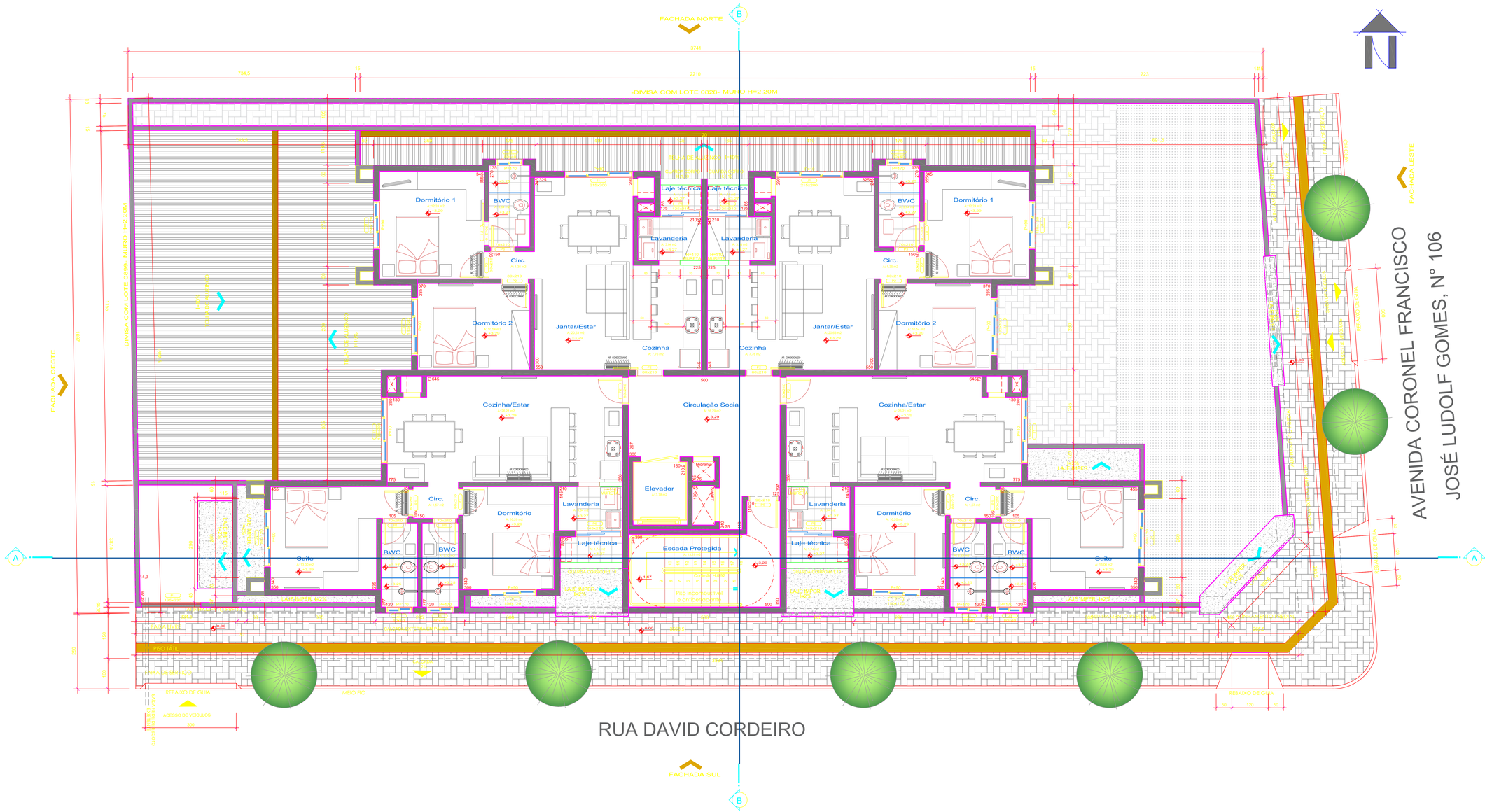
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

APÊNDICES

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26



PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TIPO

ORGÃOS PÚBLICOS:

PROJETO: ARQUITETÔNICO

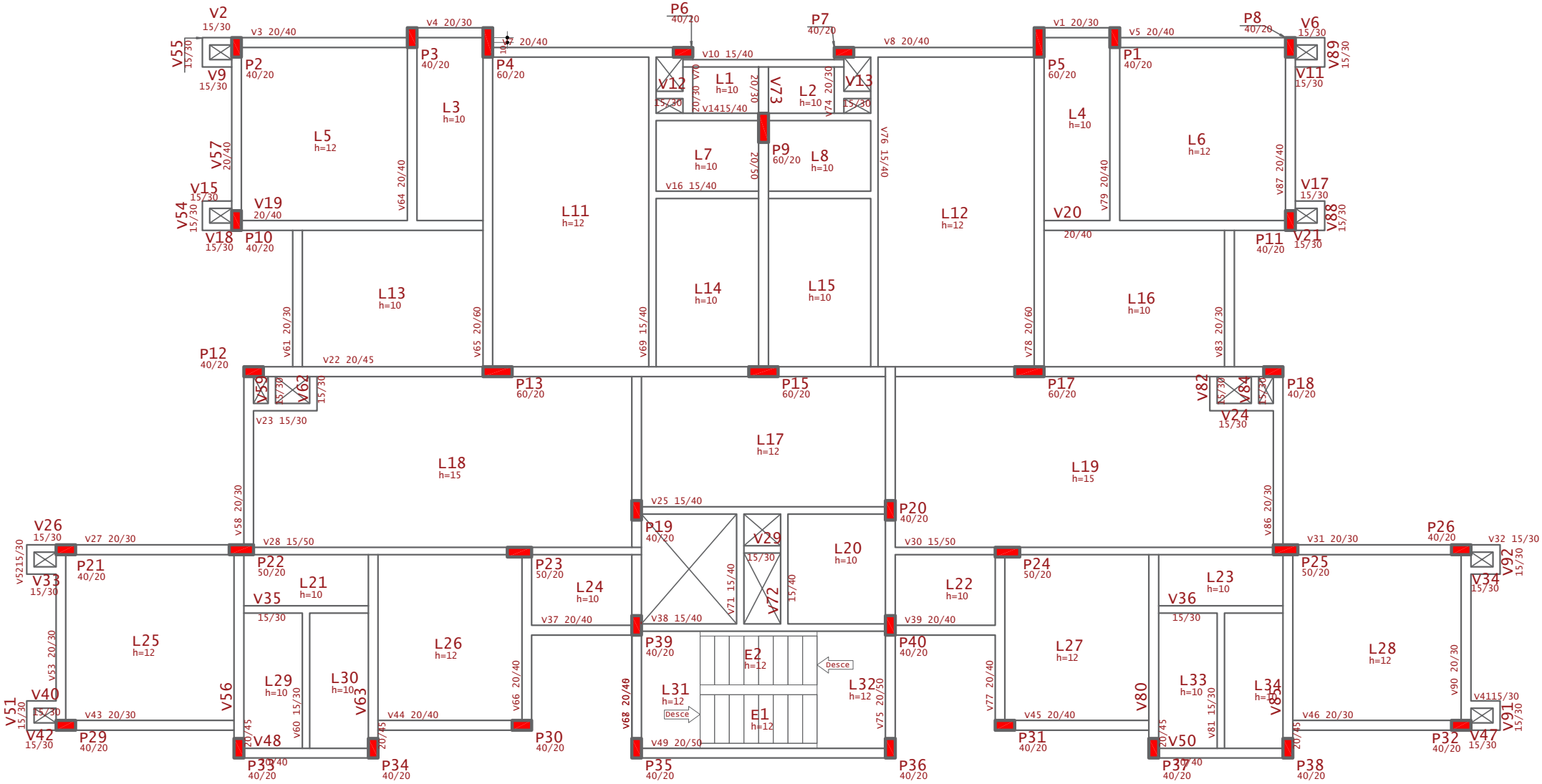
Prancha: 01/01

CONCEITO arquitetura e urbanismo

Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

APÊNDICE B – PROJETO ESTRUTURAL (PAVIMENTO TIPO) MODELO 01

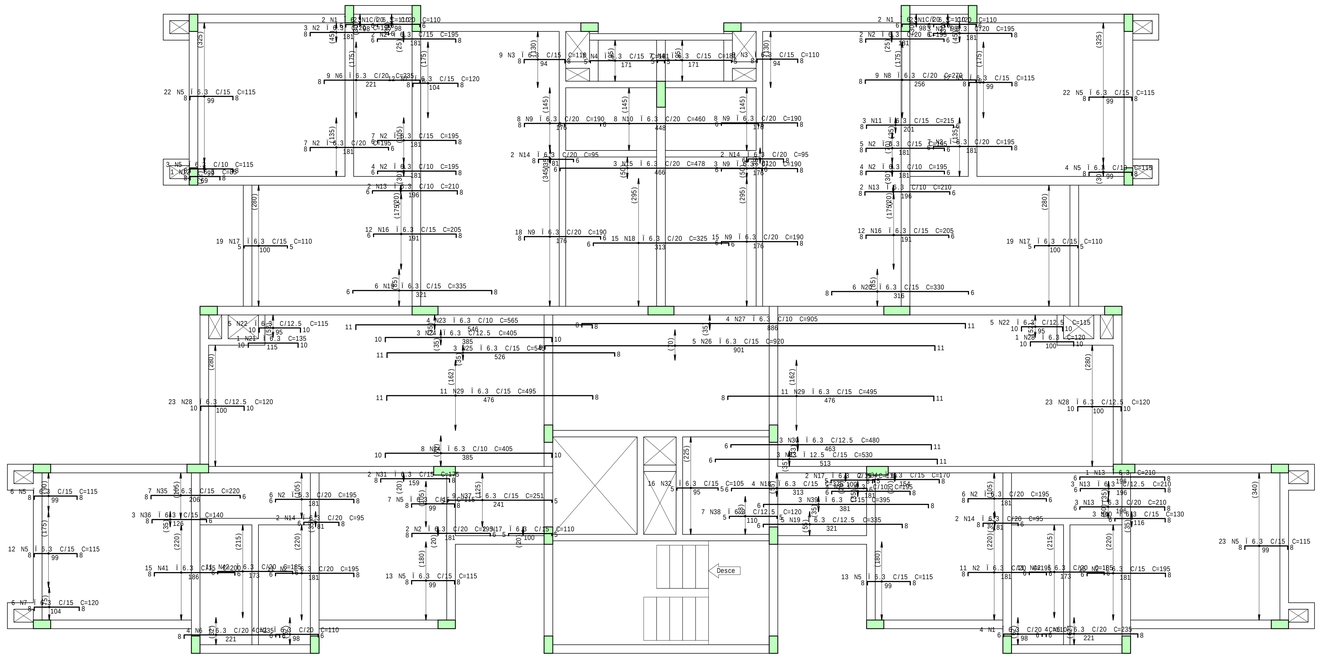
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26



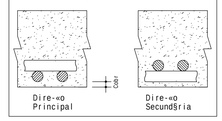
Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

Pav tipo - Armadura negativa principal

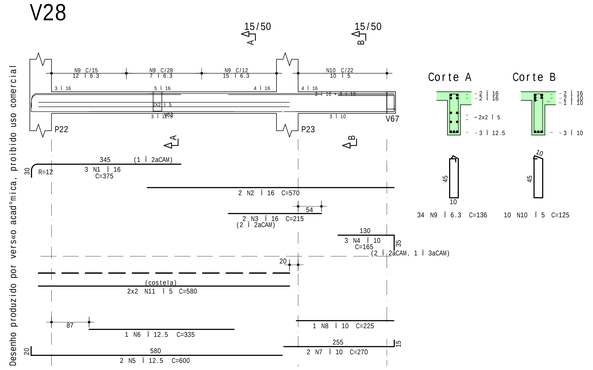
8X



Detalhe gen®rico do alojamento
de armaduras positivas



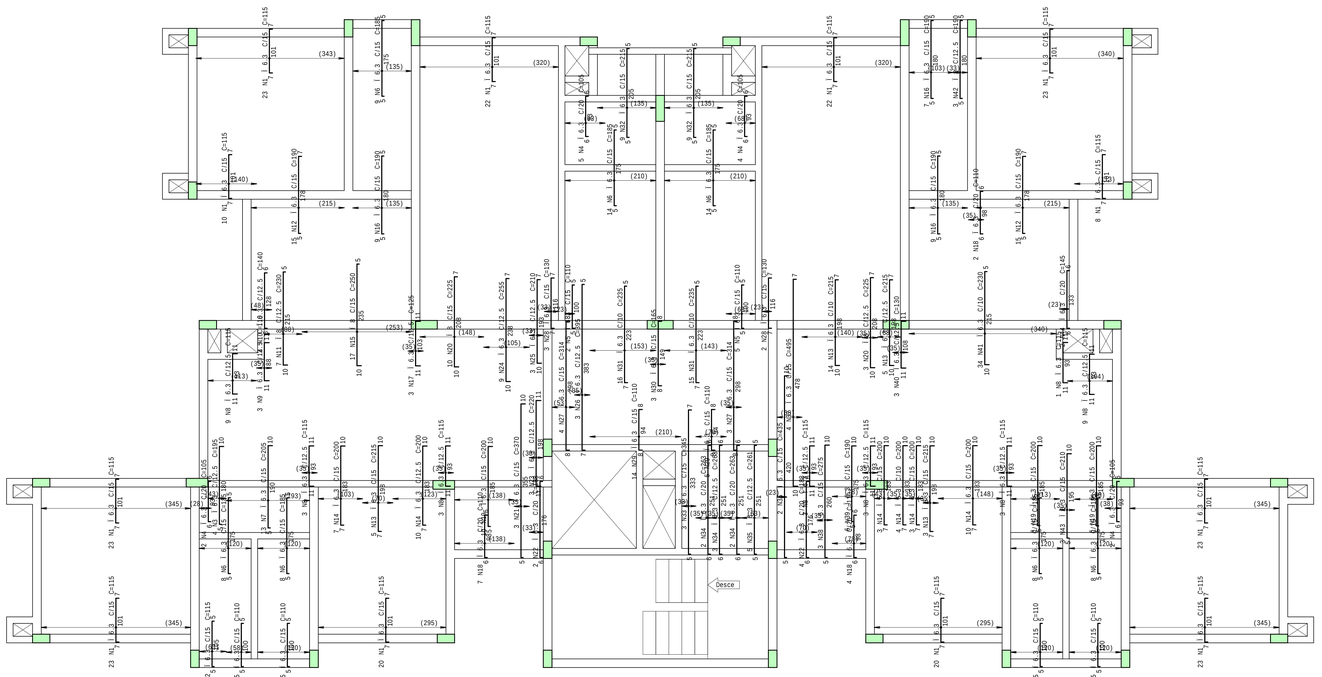
V28



73 N43 | 5 C/20 C=1140

Pav tipo - Armadura negativa secundaria

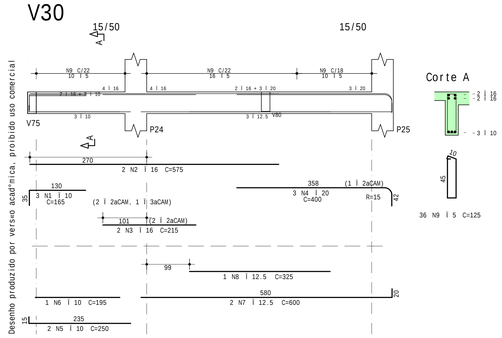
8X



Detalhe gen®rico do alojamento
de armaduras positivas



V30

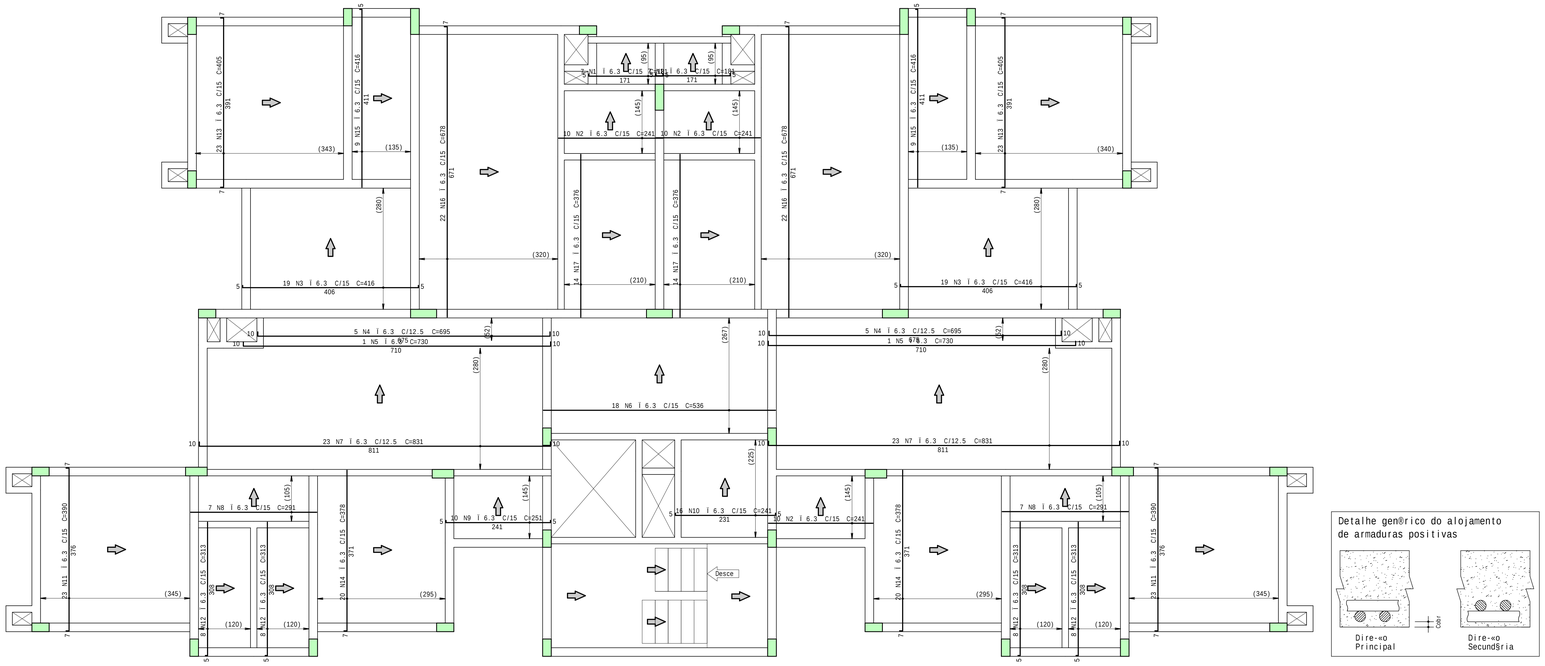


CONCRETO fck = 30 MPa ECS = 26838 MPa	OBRA N. º 0001
CLIENTE UNILA	DES. N. º 101
OBRA TCC - BR s/ sismo	
TITULO Pav tipo - Armadura negativa principal Pav tipo - Armadura negativa secundaria V28 / V30	REV. N. º 00
DATA 08/03/2025	ESCALA 1:50
DESENHO TCC-PAV-V1G-101-R00	COORD.
	ENG. º

Desenho produzido por vers»o acad®mica, proibido uso comercial
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA - TCC-PAV-V1G-101-R00.PLT 08/03/2025 17:26:45
Versão Final Homologada
08/03/2025 16:20

Pav tipo - Armadura positiva secundaria

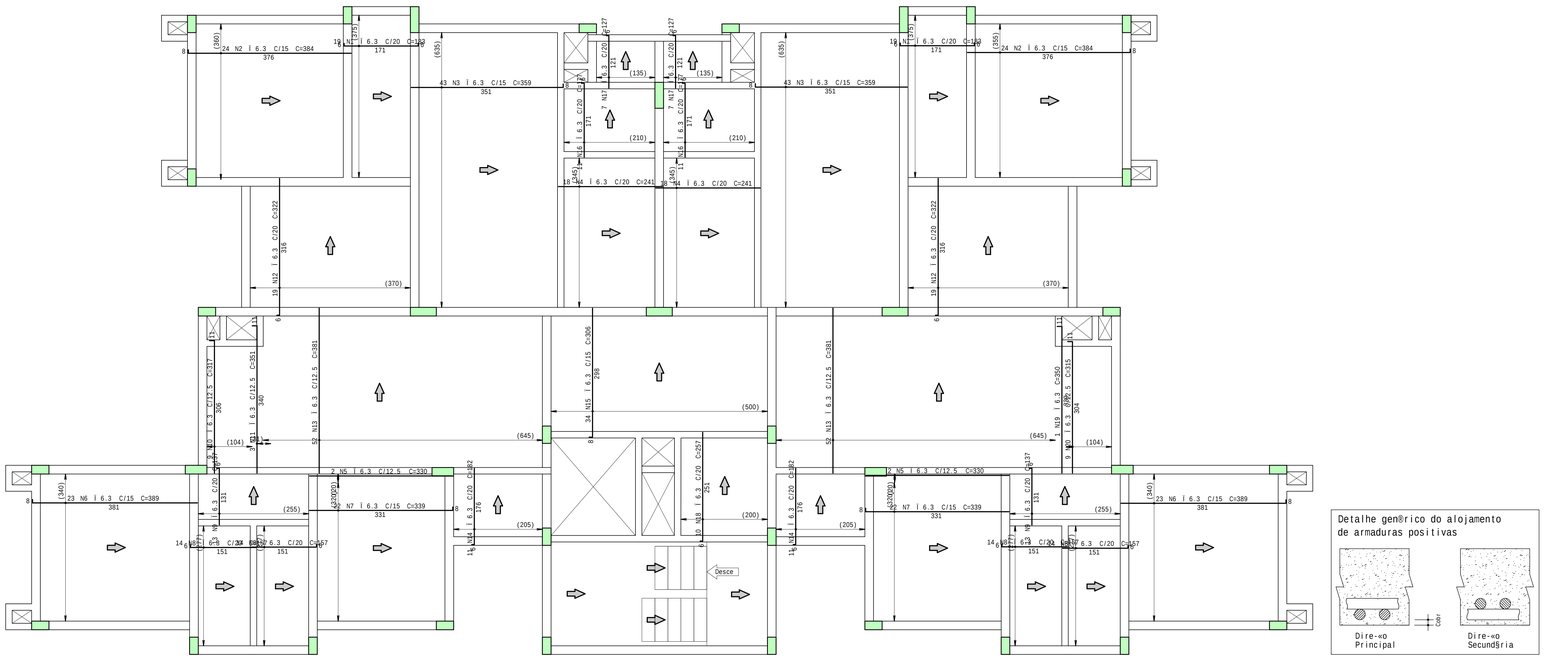
8X



Detalhe gen®rico do alojamento de armaduras positivas

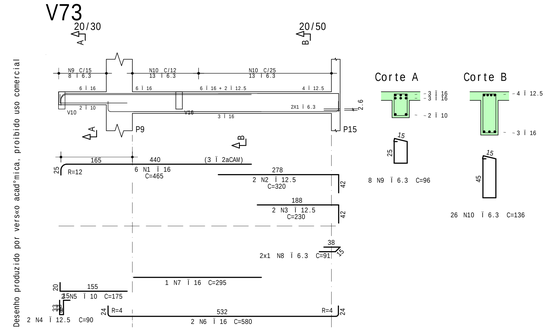
Pav tipo - Armadura positiva principal

8X

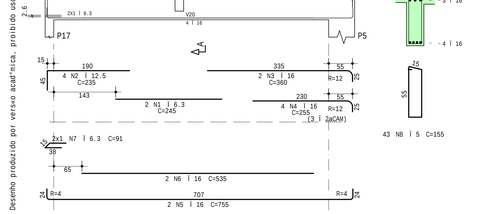


Detalhe gen®rico do alojamento de armaduras positivas

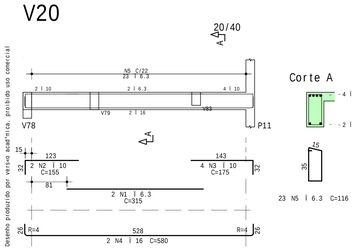
V73



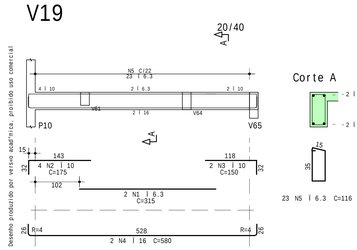
V78



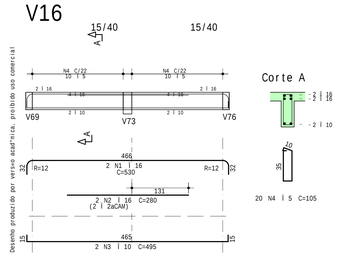
V20



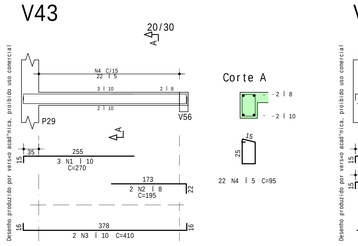
V19



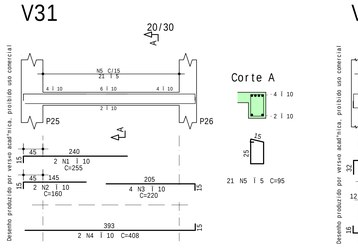
V16



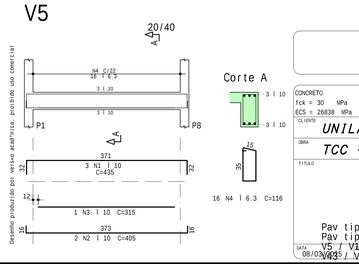
V43



V31



V5



Desenho produzido por versxo acadºmica, proibido uso comercial

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL TCC-PAV-V1C-102-R00.PLT 08/03/2025 17:26:47
Versão Final Homologada
08/03/2025 14:28

CONCRETO
fck = 30 MPa
Ecs = 26838 MPa

CLIENTE: UNILA

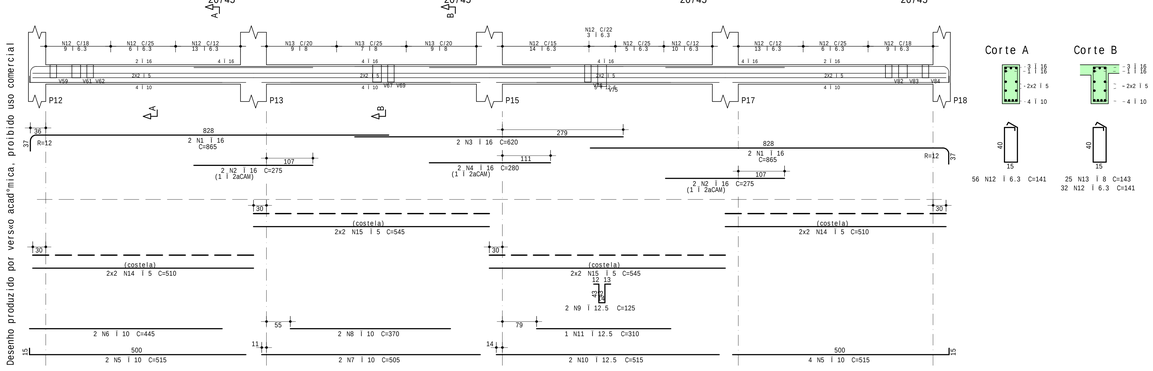
OBRA: TCC - BR s/ sismo

TITULO: Pav tipo - Armadura positiva principal
Pav tipo - Armadura positiva secundaria
V5 / V16 / V19 / V20 / V31
V43 / V73 / V78

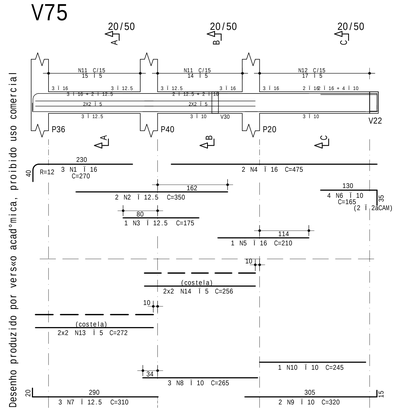
DATA: 08/03/2025
ESCALA: 1/50
COORD.
TCC-PAV-V1C-102-R00

DES. N.º 0001
DES. N.º 102
REV. N.º 00
ENG. º

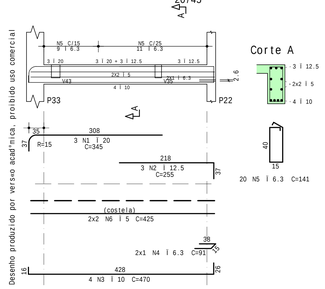
V22



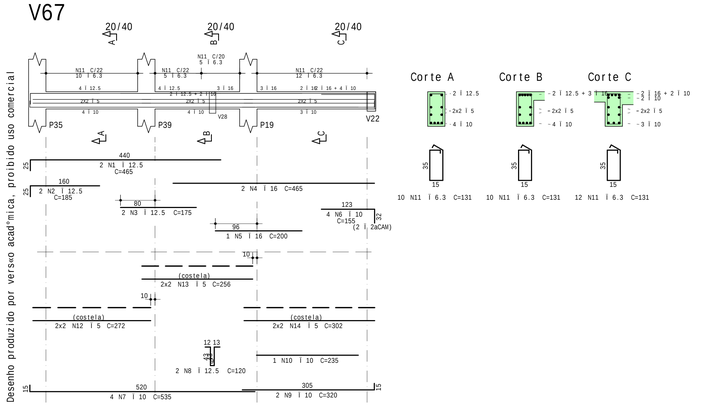
V75



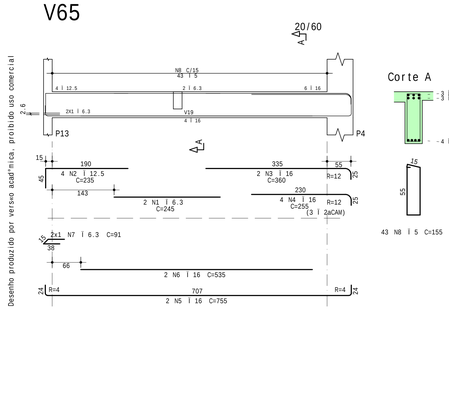
V56



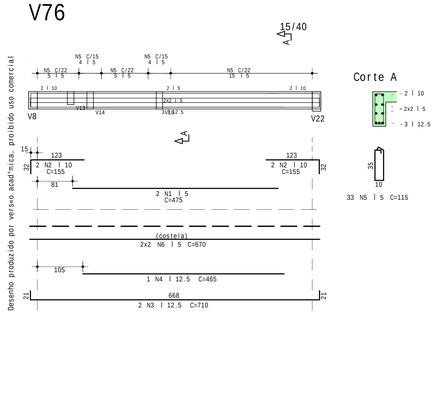
V67



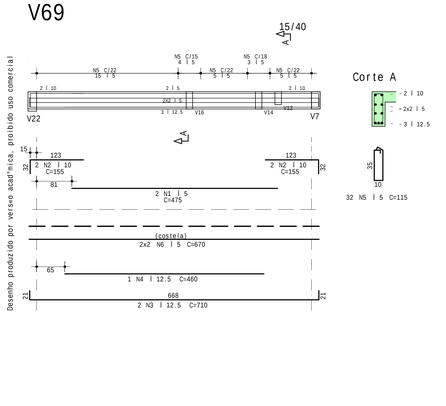
V65



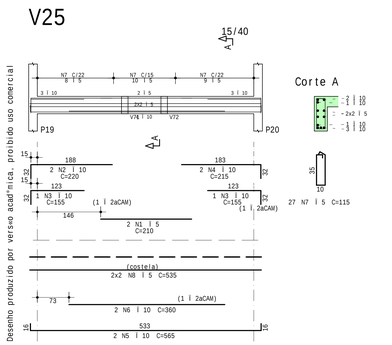
V76



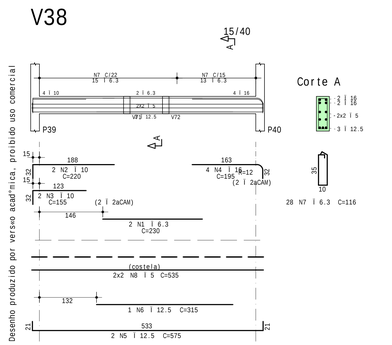
V69



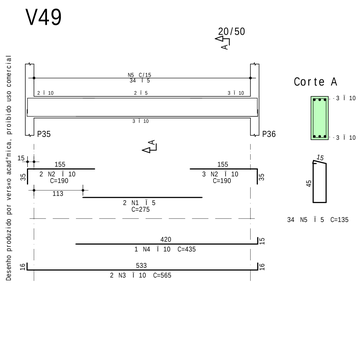
V25



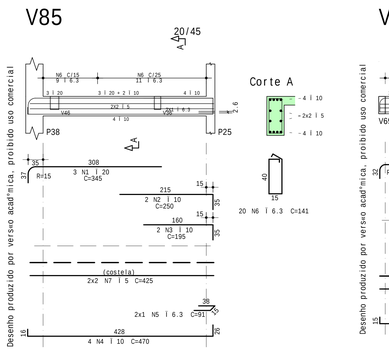
V38



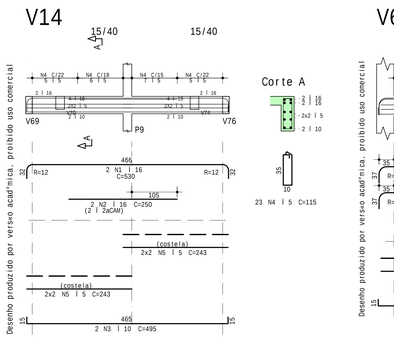
V49



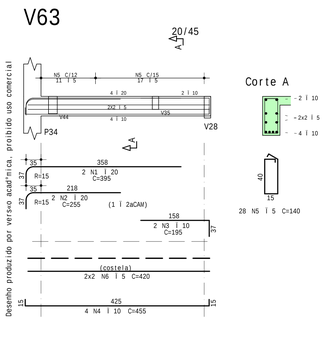
V85



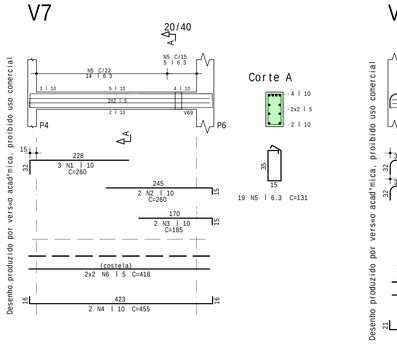
V14



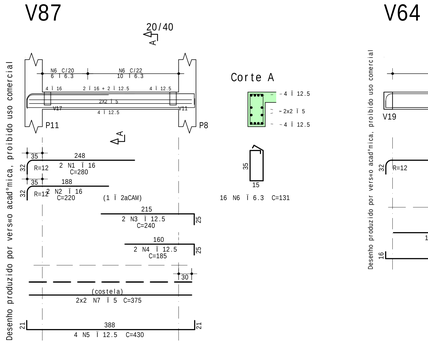
V63



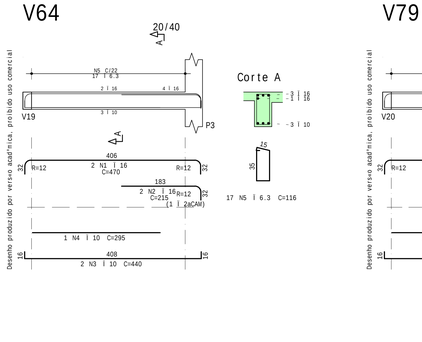
V7



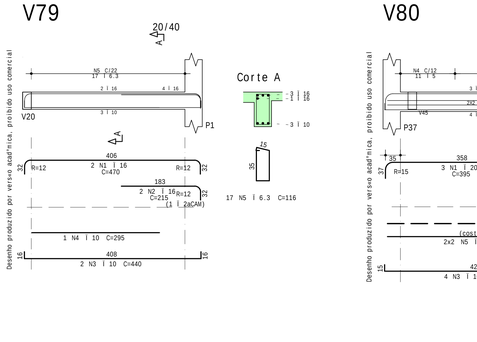
V87



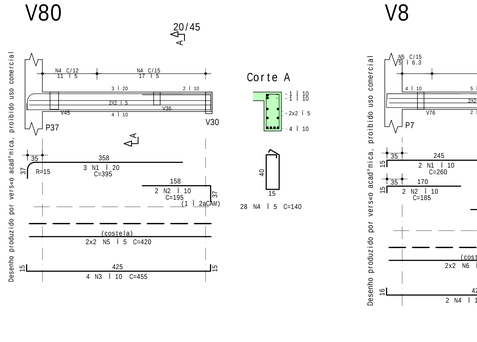
V64



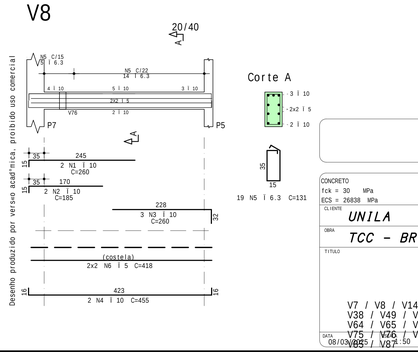
V79



V80



V8



CONCRETO
fck = 30 MPa
ECS = 26838 MPa

CLIENTE: UNILA

OBRA: TCC - BR s/ sismo

TÍTULO: V7 / V8 / V14 / V22 / V25 / V38 / V49 / V56 / V63 / V64 / V65 / V67 / V69 / V75 / V76 / V79 / V80 / V85 / V87

DATA: 08/09/2025

ESCALA: 1:50

COORD.

ENG. Nº

OBRA Nº: 0001

DES. Nº: 103

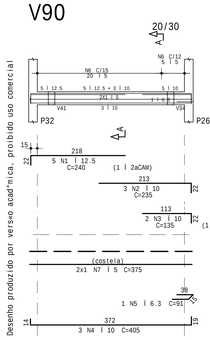
REV. Nº: 00

TCC-PAV-VIG-103-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL TCC-PAV-VIG-103-R00.PLT 08/09/2025 17:26:48
Versão Final Homologada
08/09/2025 14:28

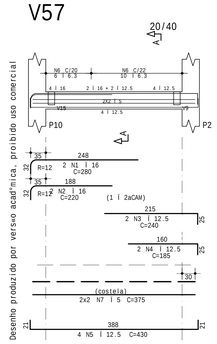
V90

20/30



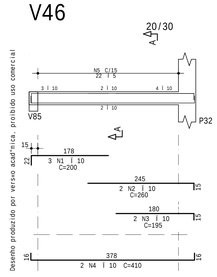
V57

20/40



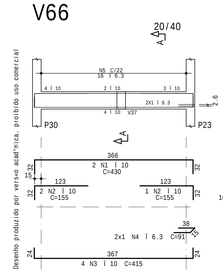
V46

20/30



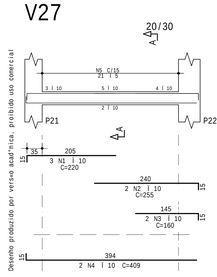
V66

20/40



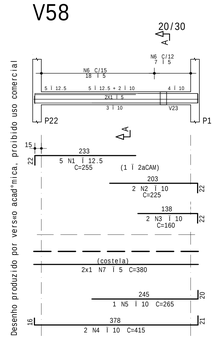
V27

20/30



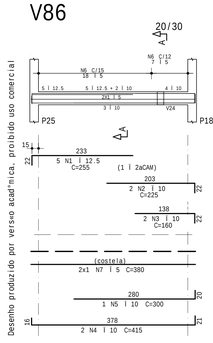
V58

20/30



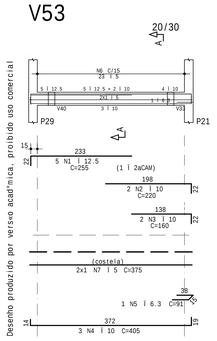
V86

20/30



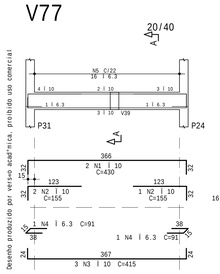
V53

20/30



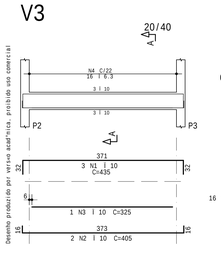
V77

20/40



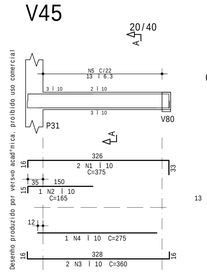
V3

20/40



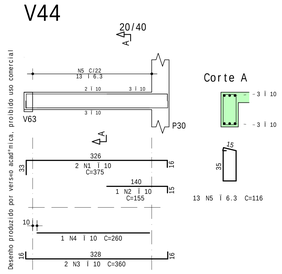
V45

20/40



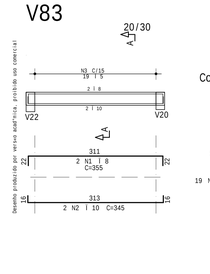
V44

20/40



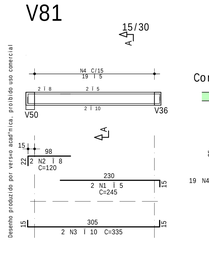
V83

20/30



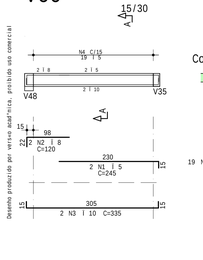
V81

15/30



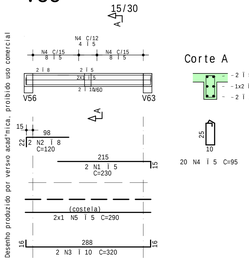
V60

15/30



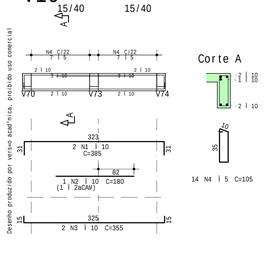
V35

15/30



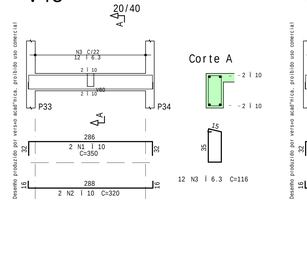
V10

15/40



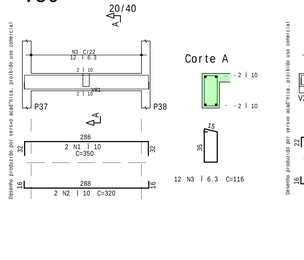
V48

20/40



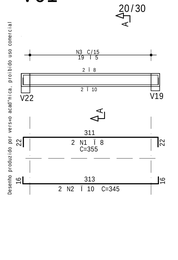
V50

20/40



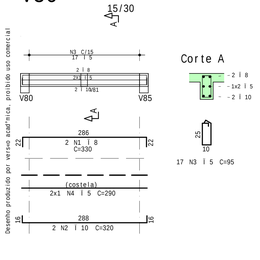
V61

20/30



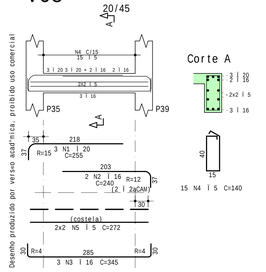
V36

15/30



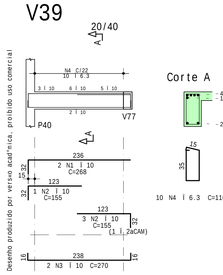
V68

20/45



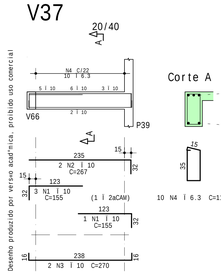
V39

20/40



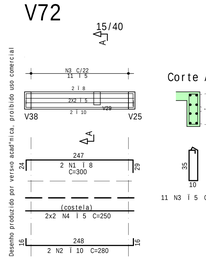
V37

20/40



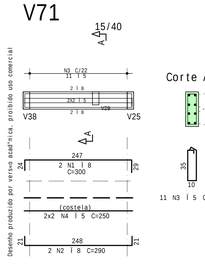
V72

15/40



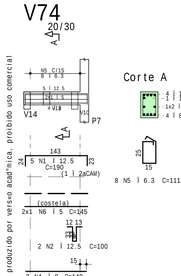
V71

15/40



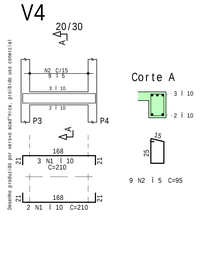
V74

20/30



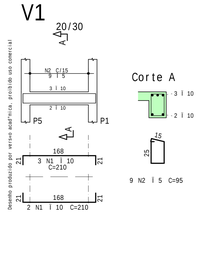
V4

20/30



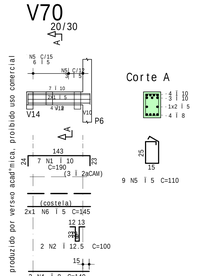
V1

20/30



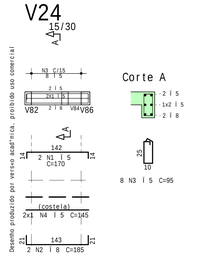
V70

20/30



V24

15/30



V23

15/30

V82

15/30

V26

15/30

V42

15/30

V32

15/30

V47

15/30

V59

15/30

V84

15/30

V12

15/30

V13

15/30

V62

15/30

CONCRETO
fck = 30 MPa
ECS = 26838 MPa

CLIENTE: UNILA

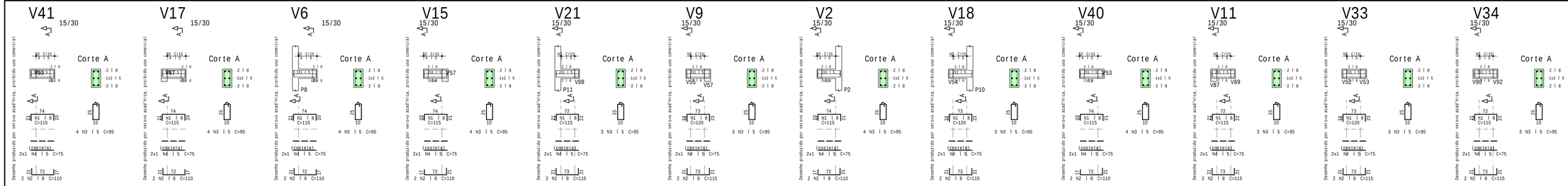
OBRA: TCC - BR s/ sismo

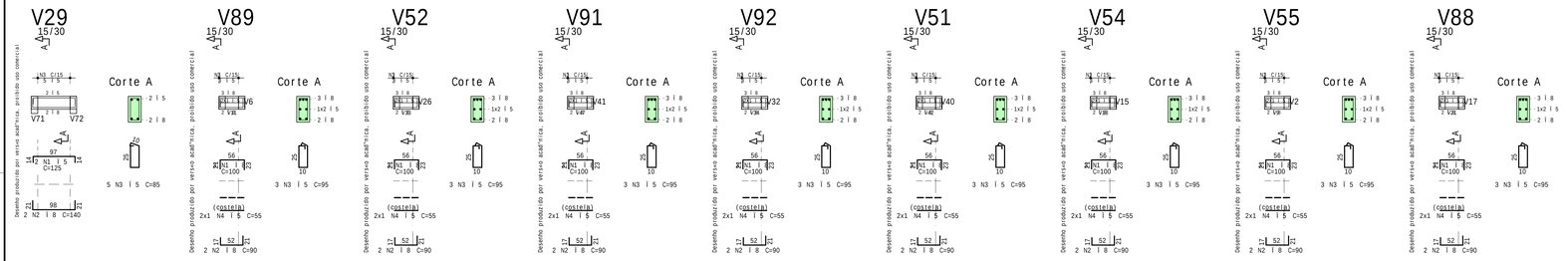
TÍTULO:
V1 / V3 / V4 / V10 / V12
V13 / V23 / V24 / V26
V27 / V32 / V35 / V36
V37 / V39 / V42 / V44
V45 / V46 / V47 / V48
V50 / V53 / V57 / V58
V59 / V60 / V61 / V62

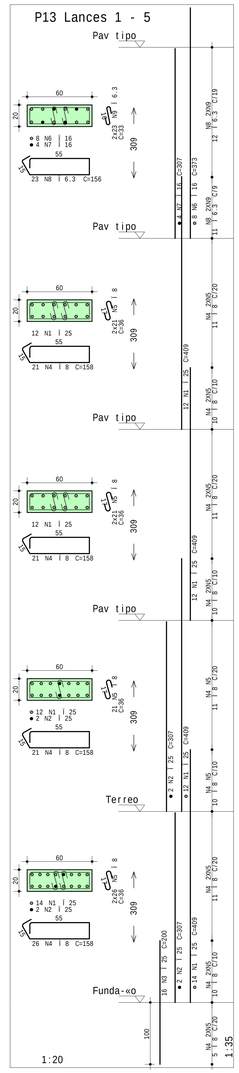
DATA: 08/09/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-104-800
COORD.

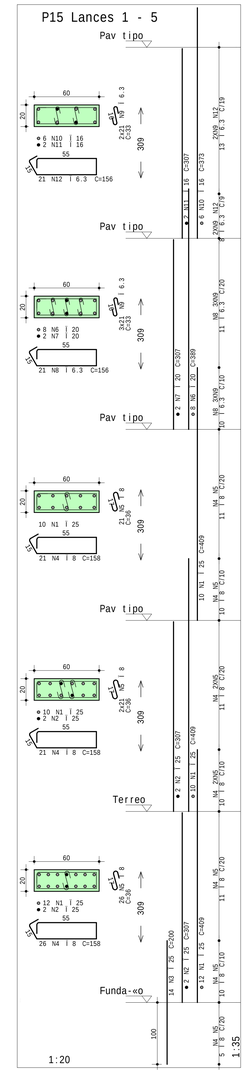
OBRA N. º 0001
DES. N. º 104
REV. N. º 00
ENG. º

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL TCC-PAV-VIG-104-800.PLT 08/09/2025 17:28:50
Versão Final Acadêmica
08/09/2025 16:20



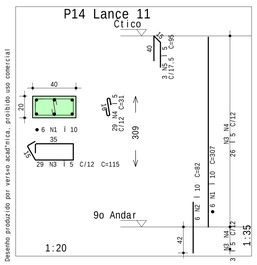


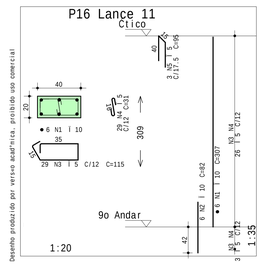


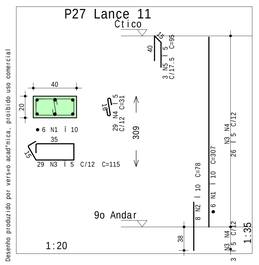


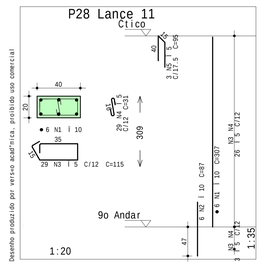
Desenho produzido por versão acadêmica, proibido uso comercial

Desenho produzido por versão acadêmica, proibido uso comercial







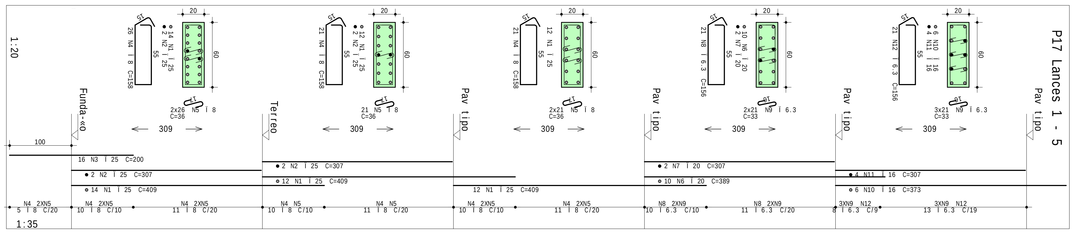


CONCRETO: fck = 30 MPa ECS = Ver na planta	OBRA N.º 0001
CLIENTE: UNILA	DES. N.º 105
OBRA: TCC – BR s/ sismo	
TÍTULO: PROJETO ESTRUTURAL P13 Lances 1 - 5 P14 Lance 11 P15 Lances 1 - 5 P16 Lance 11 P27 Lance 11 P28 Lance 11 / V2 / V6 V9 / V11 / V15 / V17 / V18	REV. N.º 00
DATA: 08/03/2025	DESENHO: TCC-PAV-V1G-105-R00
ESCALA: Indicada	COORD.
	ENG.º

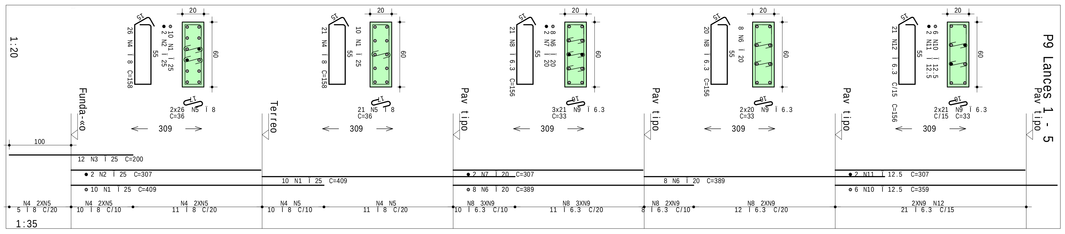
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA, TCC-PAV-V1G-105-R00.PLT 08/03/2025 17:26:53
Versão Final Homologada
08/03/2025 16:26

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-106-R00.PLT 08/03/2025 17:26:56

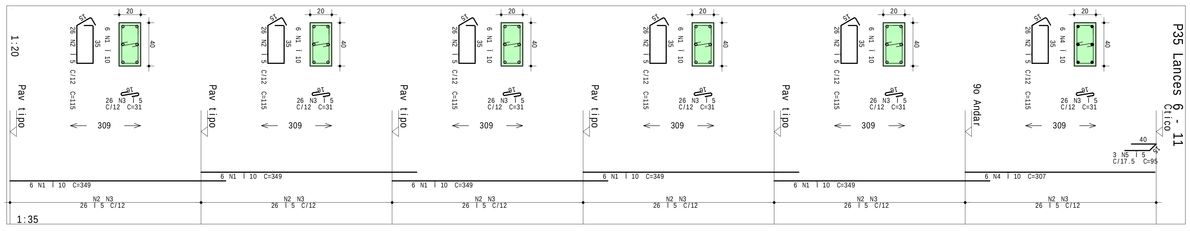
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



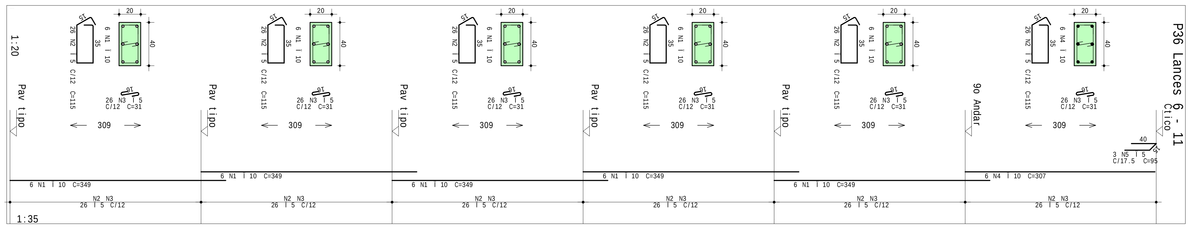
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



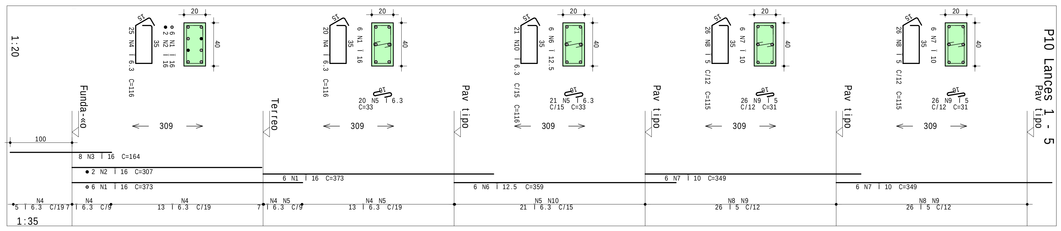
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



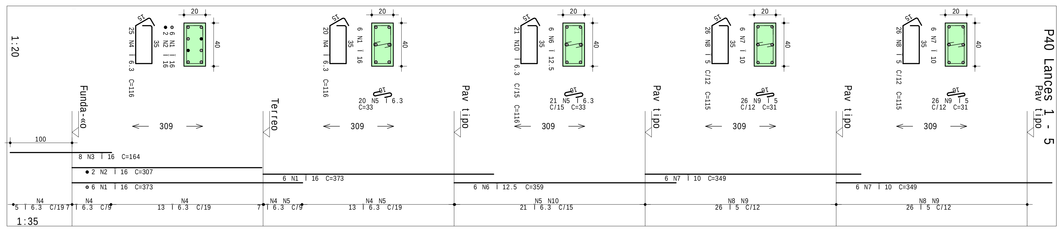
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



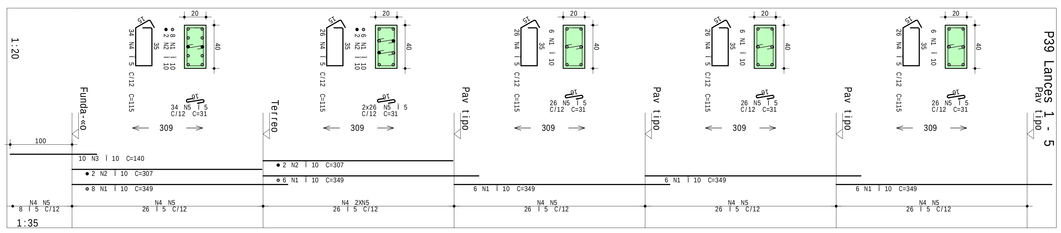
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA

PROJETO:
TCC - BR s/ sismo

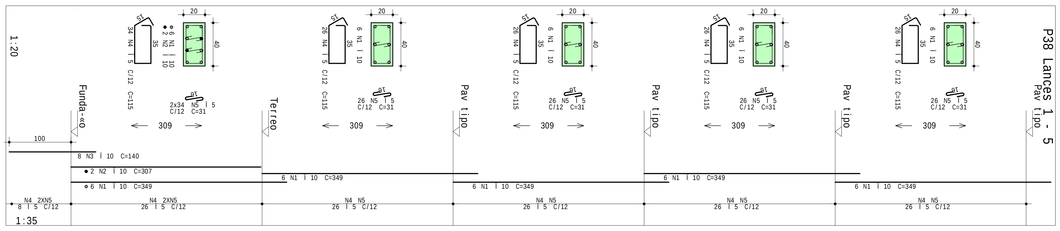
CLIENTE:
UNILA

TÍTULO:
P9 Lances 1 - 5
P10 Lances 1 - 5
P17 Lances 1 - 5
P35 Lances 6 - 11
P36 Lances 6 - 11
P39 Lances 1 - 5
P40 Lances 1 - 5

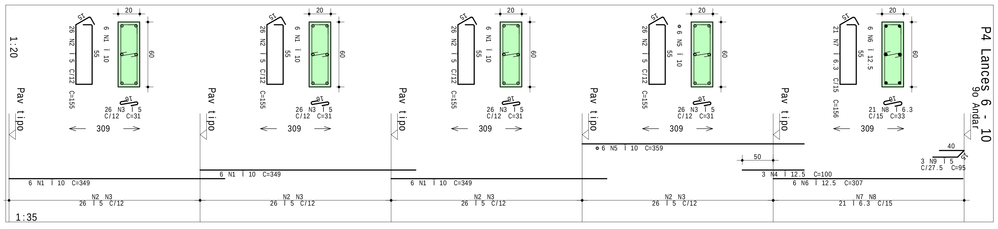
ESCALA: 1:20, 1:35
FOLHA: 106
REV.: 00
DATA: 08/03/2025
ARQUIVO: TCC-Pav-VIG-106-R00
CONFERE:
DES.: MPN
VER

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-107-R00.PLT 08/03/2025 17:26:58

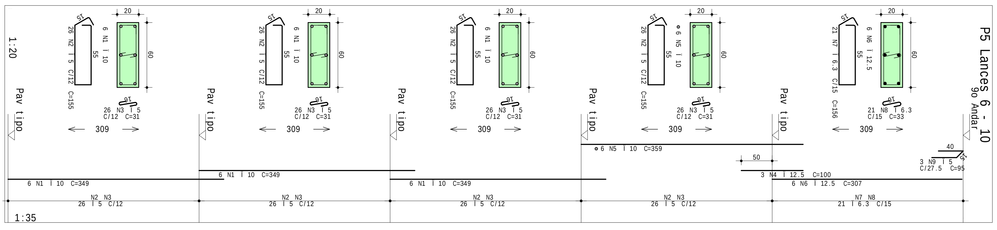
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



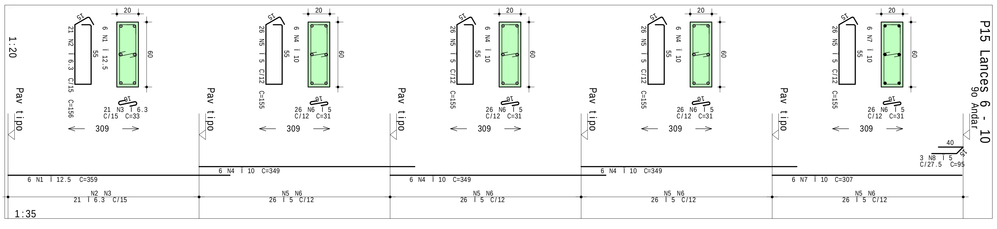
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



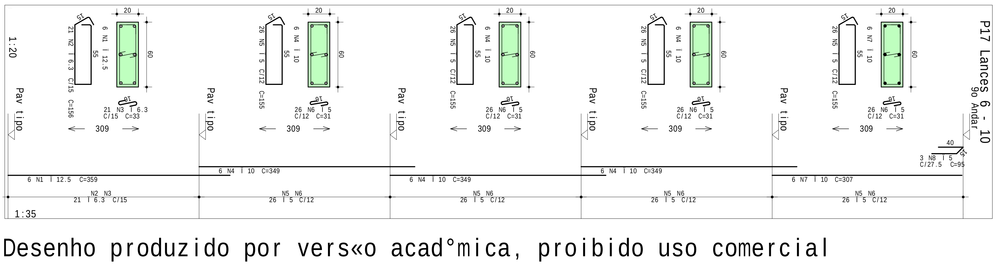
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



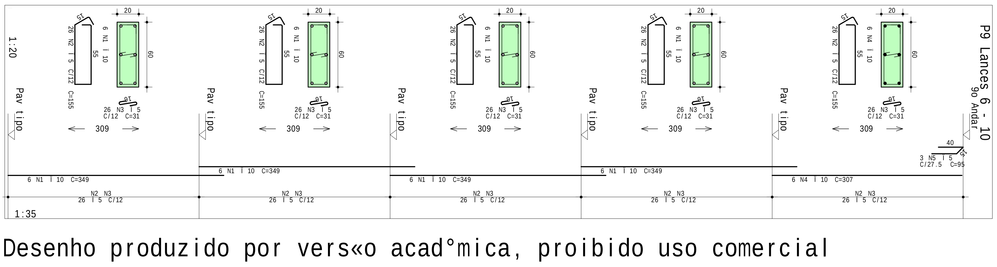
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



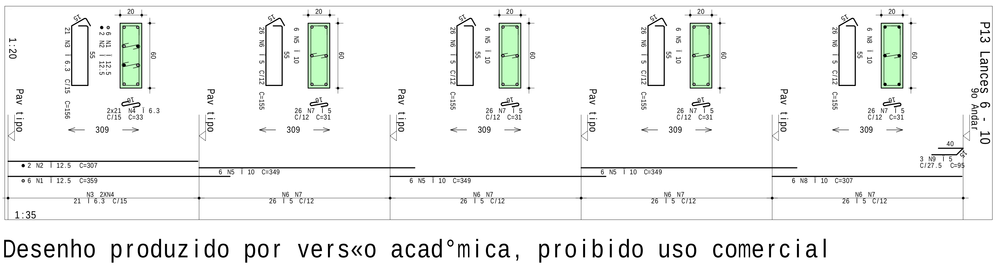
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



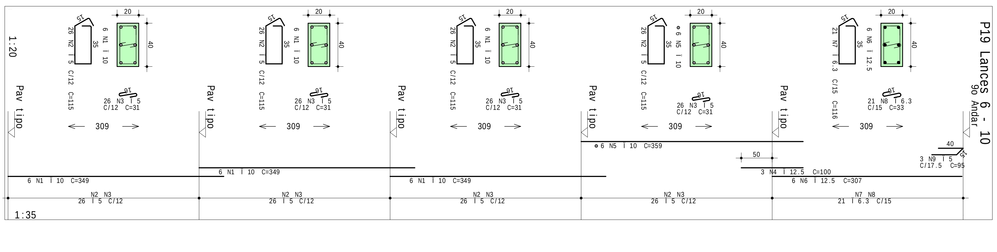
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



escala 1:20 (A1)
escala 1:40 (A3)

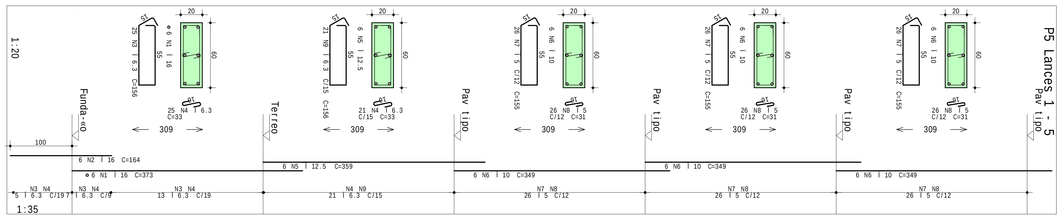
DESENHO:	
DATA: 30 MAR 2025	FOLHA Nº: 0001
ESCALA: Vários	
CLIENTE: UNILA	
OBRA: TCC - BR s/ sismo	
TÍTULO:	DES. Nº: 107
	REV. Nº: 00
	ENG. Nº:

P4 Lances 6 - 10
P5 Lances 6 - 10
P9 Lances 6 - 10
P13 Lances 6 - 10
P15 Lances 6 - 10
P17 Lances 6 - 10
P19 Lances 6 - 10

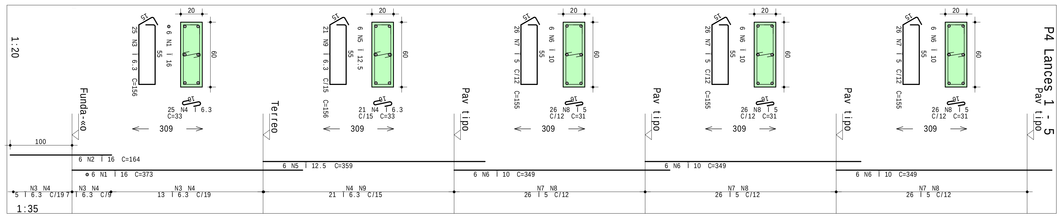
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATINO-AMERICANA
CONTEÚDO
TCC-PAV-VIG-107-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-108-R00.PLT 08/03/2025 17:26:59

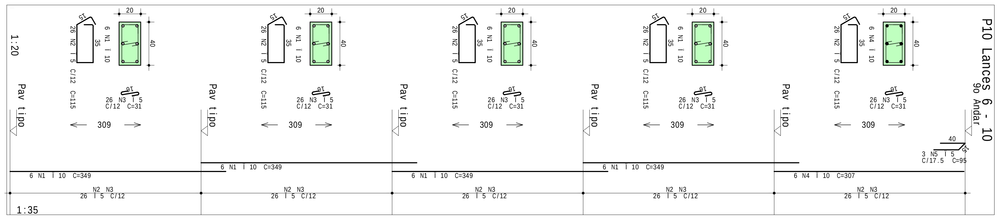
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



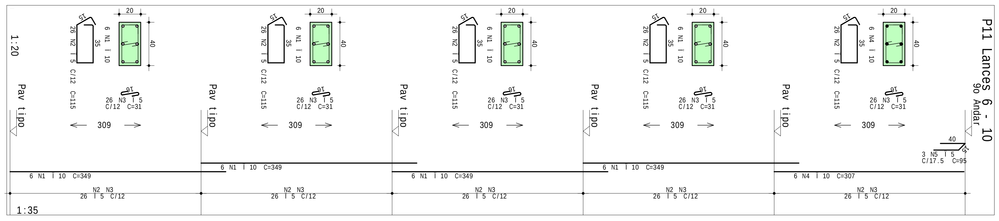
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



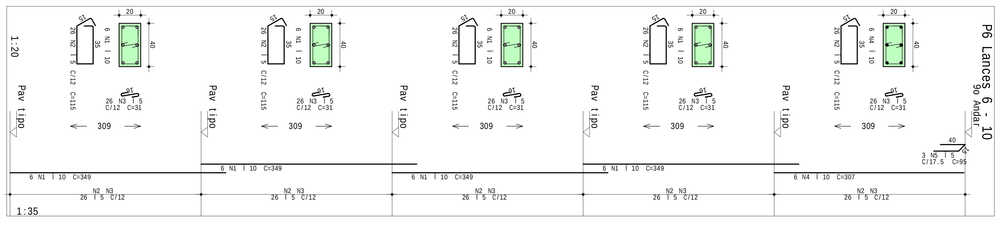
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



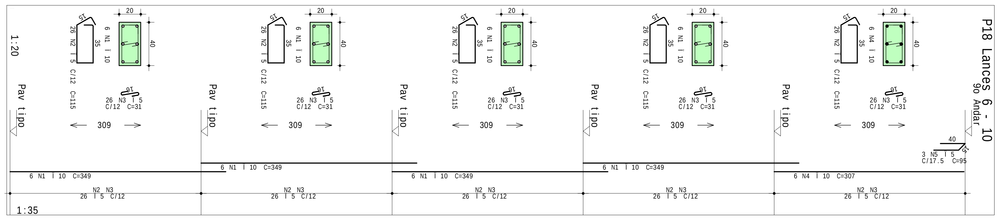
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



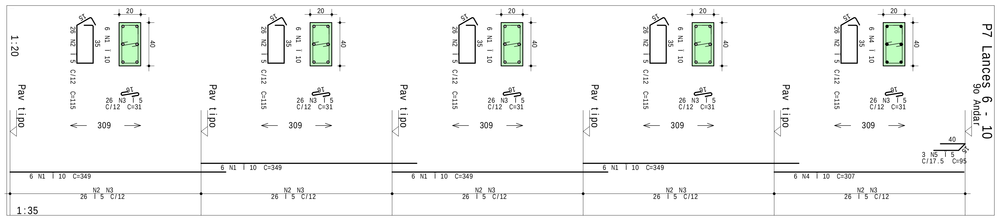
Projeto 2023
UFLA - DEG
ECS - VIG R0 08/03/25
CLIENTE
OBRA
UNILA
TCC - BR s/ sismo
TITULO
P1 Lances 6 - 10
P2 Lances 6 - 10
P4 Lances 1 - 5
P5 Lances 1 - 5
P6 Lances 6 - 10
P10 Lances 6 - 10
P11 Lances 6 - 10
P12 Lances 6 - 10
DESENHO Nº
TCC-PAV-VIG-108-R00
FOLHA Nº
108
REV. Nº
00
ARQUIVO Nº
0001

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-109-R00.PLT 08/03/2025 17:27:01

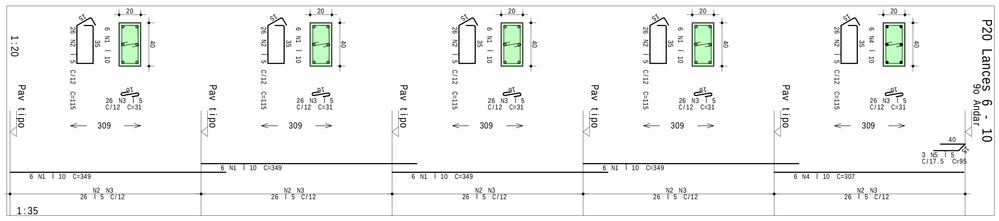
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



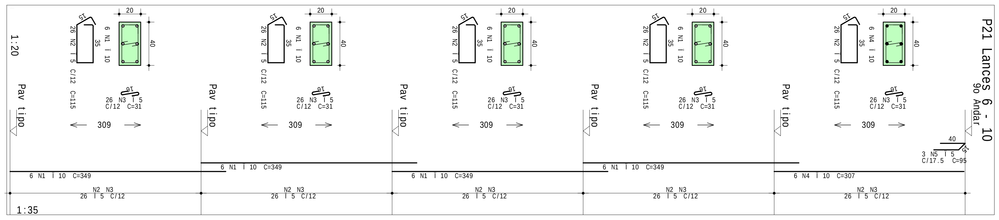
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



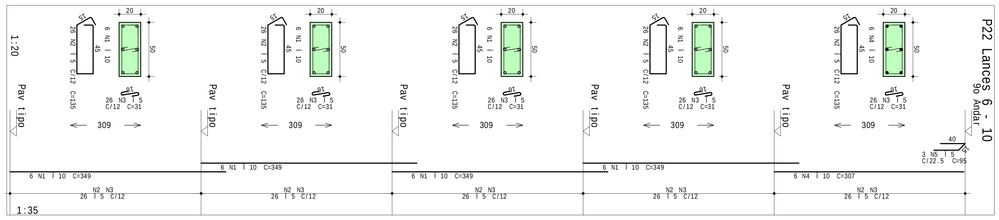
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



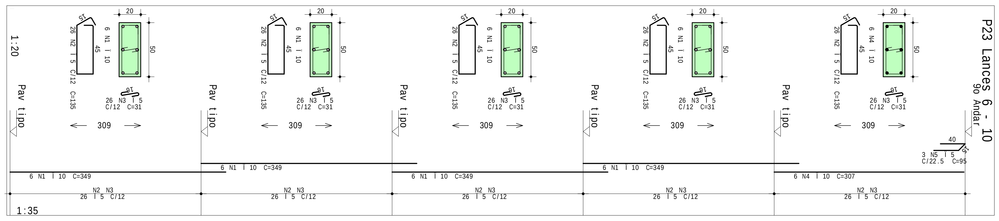
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



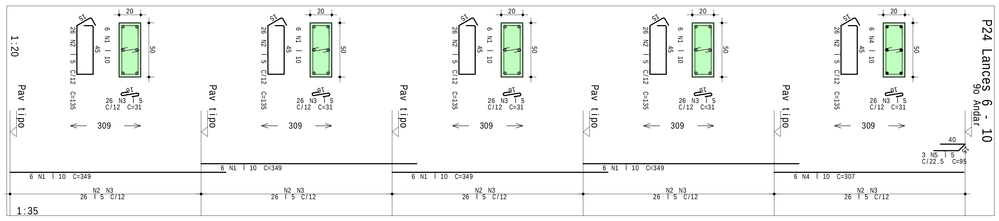
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



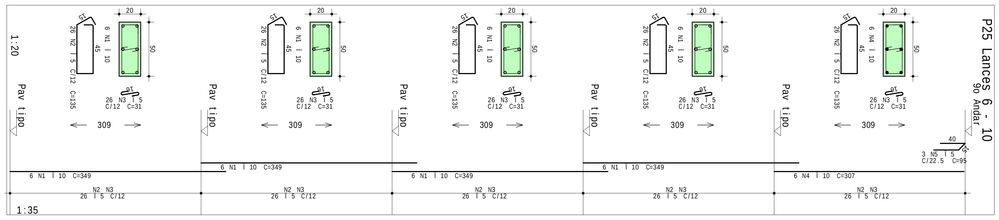
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



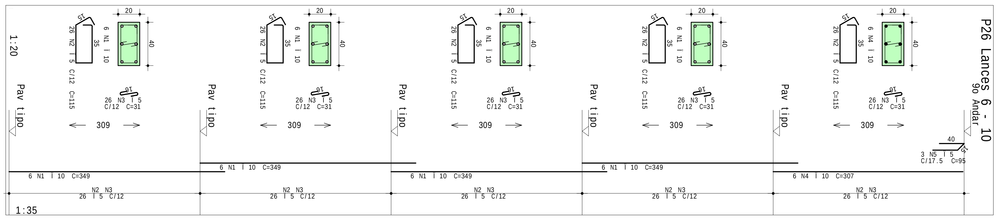
PROJETO	
TÍTULO	TCC - BR s/ sismo
ESCALA	
DATA	
FOLHA Nº	0001
SUBST. Nº	109
REV. Nº	00

P7 Lances 6 - 10
P18 Lances 6 - 10
P20 Lances 6 - 10
P21 Lances 6 - 10
P22 Lances 6 - 10
P23 Lances 6 - 10
P24 Lances 6 - 10
P25 Lances 6 - 10

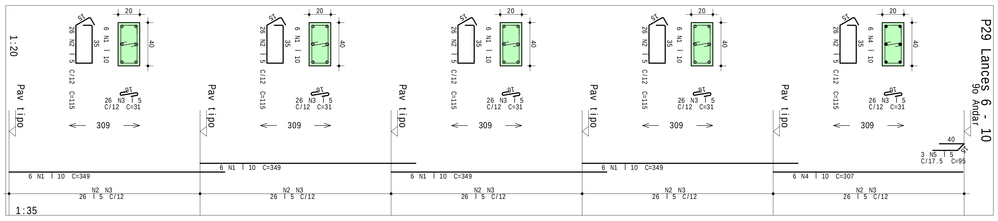
08/03/2025 TCC-PAV-VIG-109-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-110-R00.PLT 08/03/2025 17:27:03

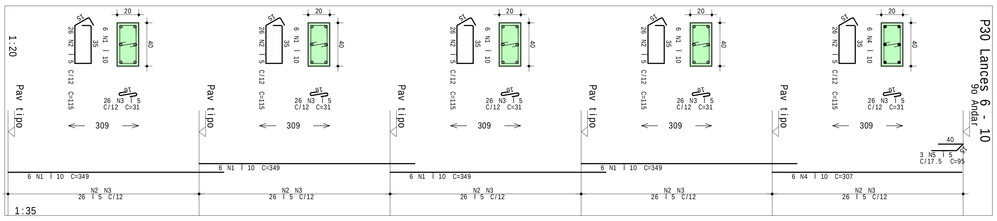
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



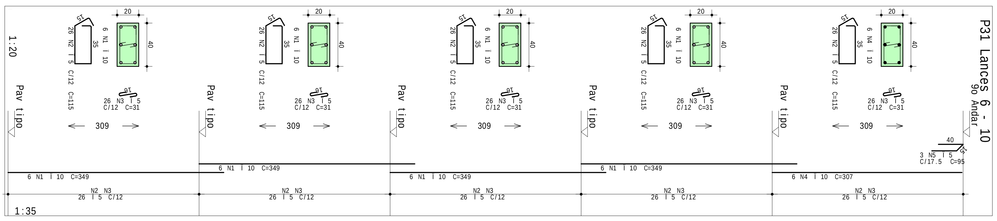
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



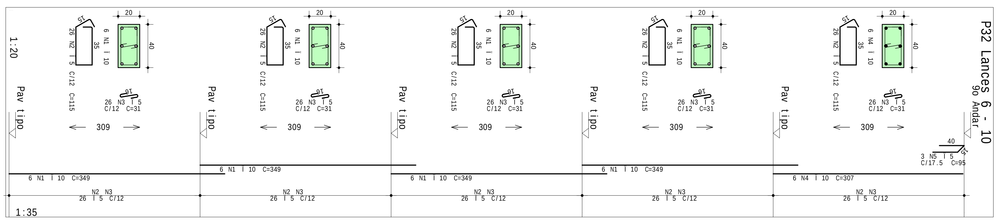
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



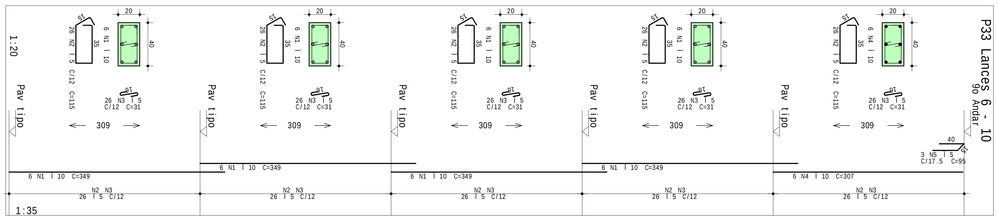
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



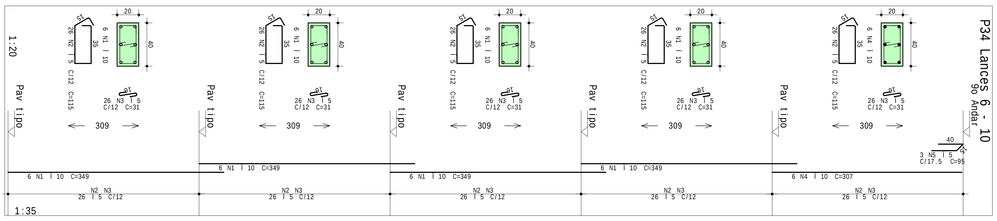
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



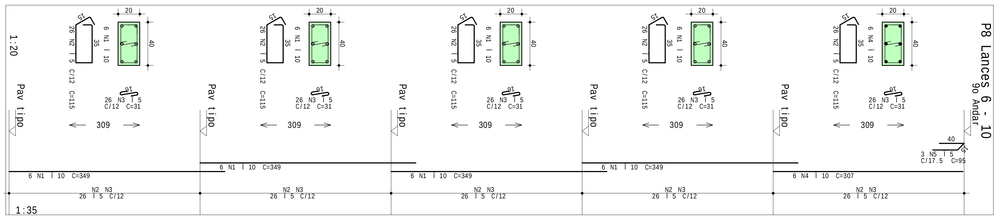
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



P8 Lances 6 - 10
P26 Lances 6 - 10
P29 Lances 6 - 10
P30 Lances 6 - 10
P31 Lances 6 - 10
P32 Lances 6 - 10
P33 Lances 6 - 10
P34 Lances 6 - 10

TCC-PAV-VIG-110-R00

00

110

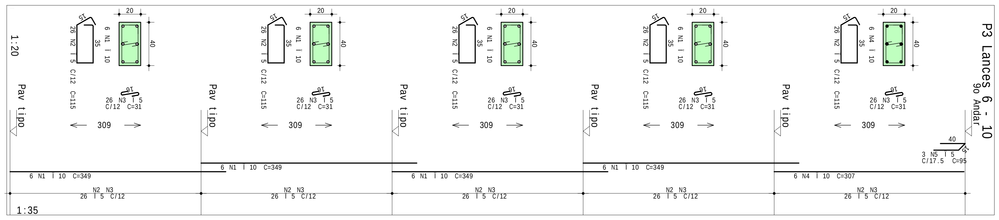
0001

TCC - BR s/ sismo

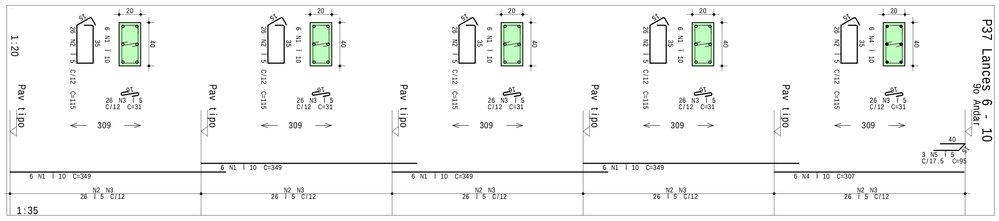
UNILA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-111-R00.PLT 08/03/2025 17:27:04

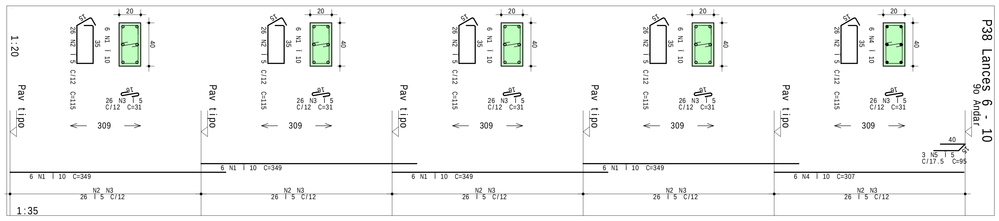
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



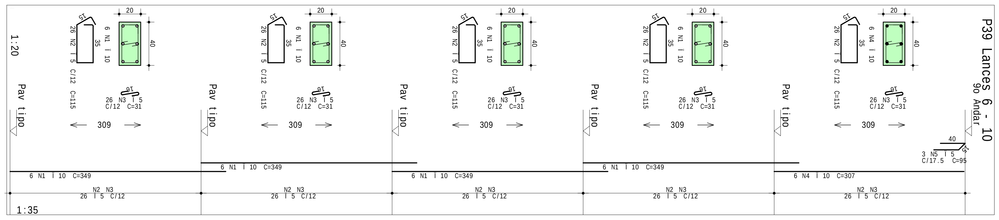
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



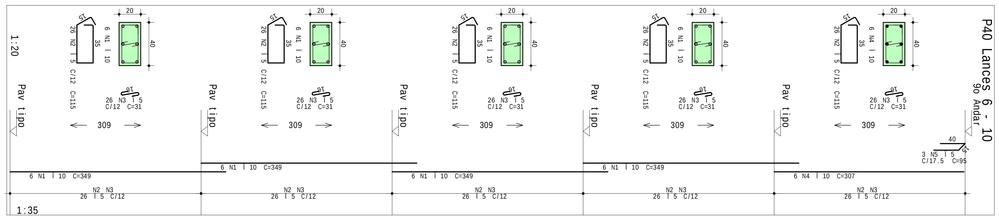
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



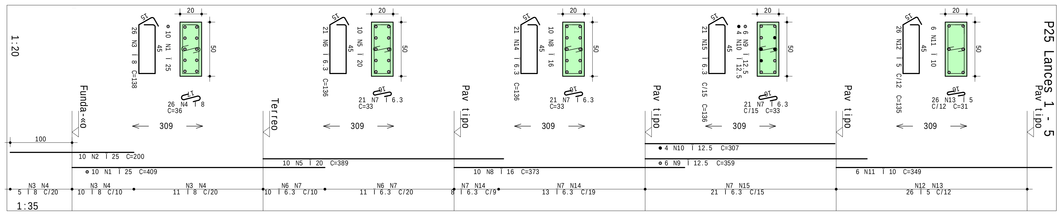
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



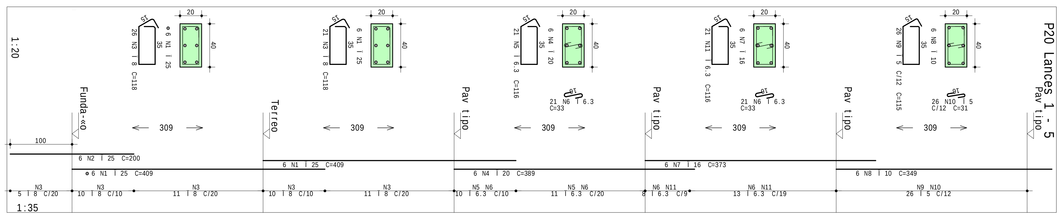
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



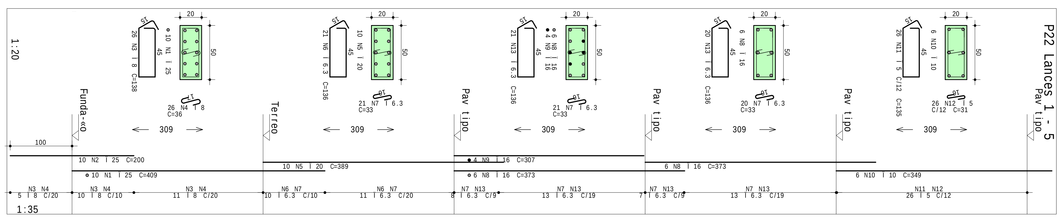
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

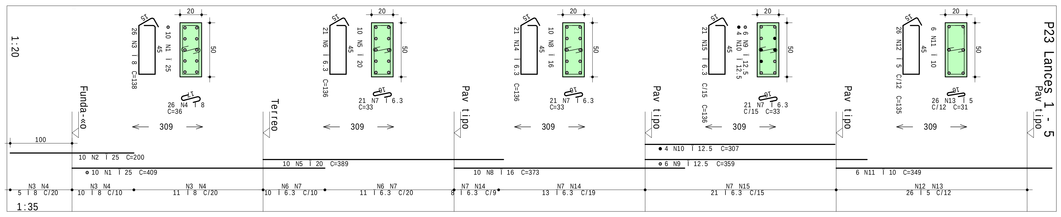


Projeto: TCC	Data: 08/03/2025
Título: TCC - BR s/ sismo	
Escala: 1:20, 1:35	
Unidade: m	
Classe:	
Obra: UNILA	
Título:	
Folha nº: 0001	
Folhas: 111	
Rev. nº: 00	

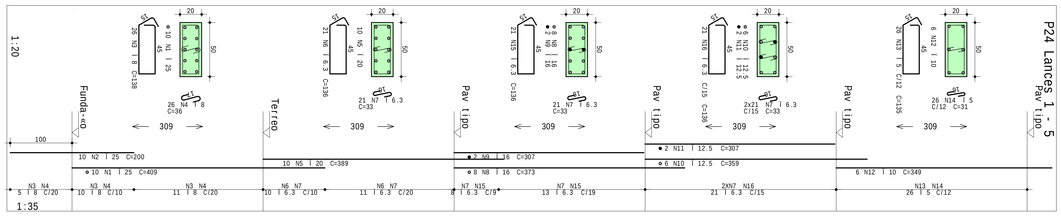
P3 Lances 6 - 10
P20 Lances 1 - 5
P22 Lances 1 - 5
P25 Lances 1 - 5
P37 Lances 6 - 10
P38 Lances 6 - 10
P39 Lances 6 - 10

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-112-R00.PLT 08/03/2025 17:27:06

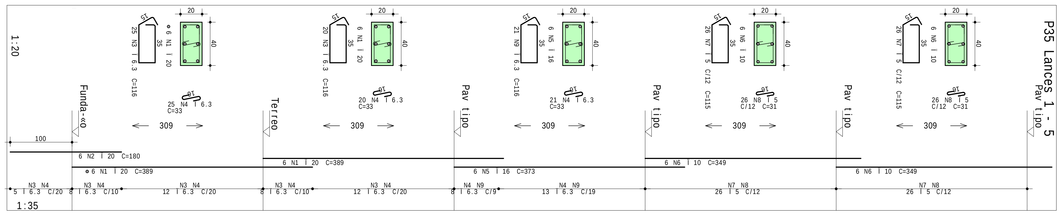
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



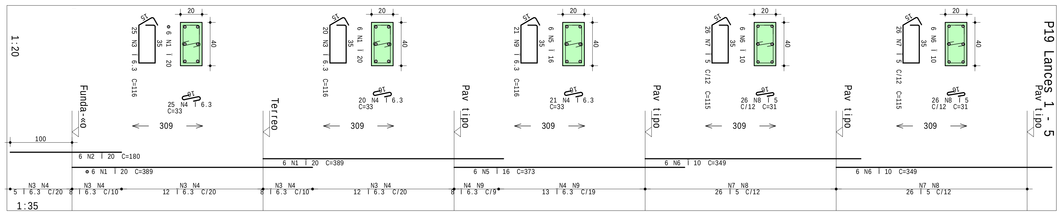
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



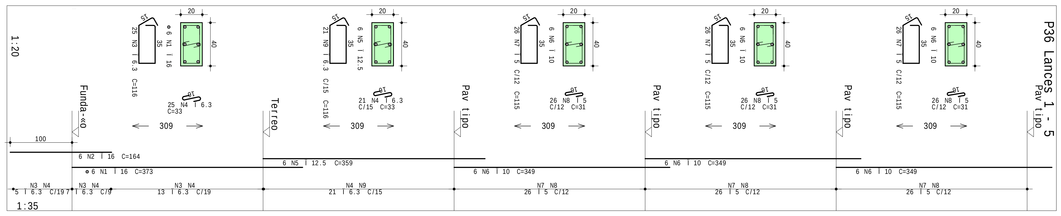
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



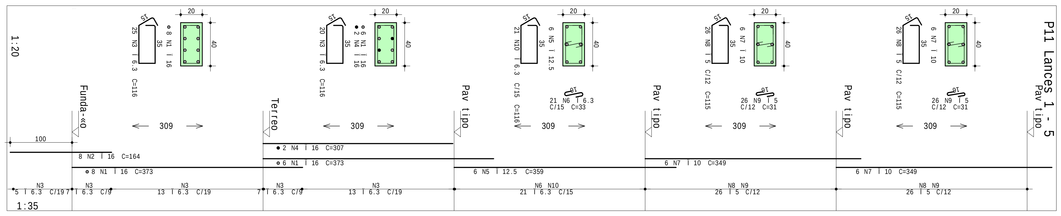
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



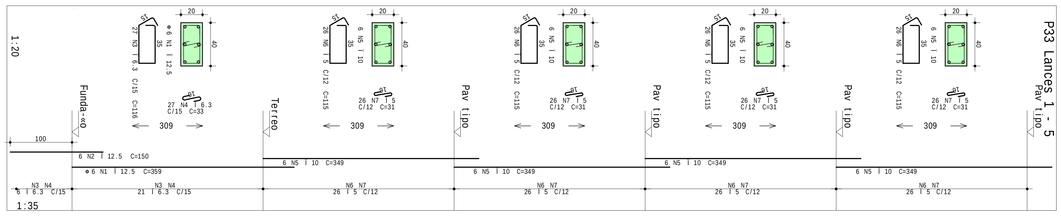
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



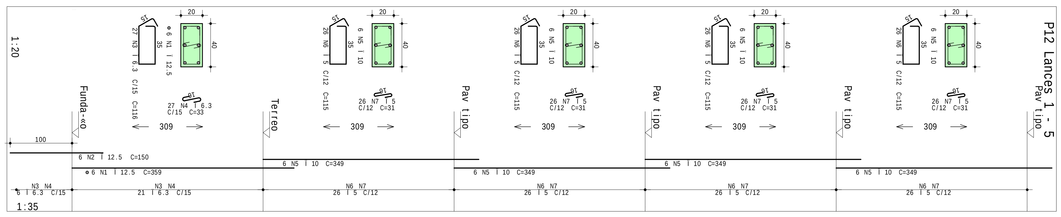
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



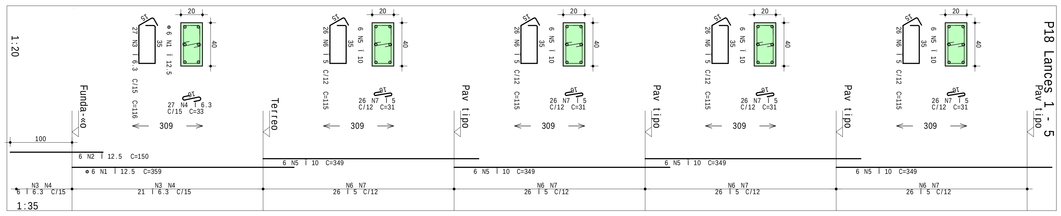
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



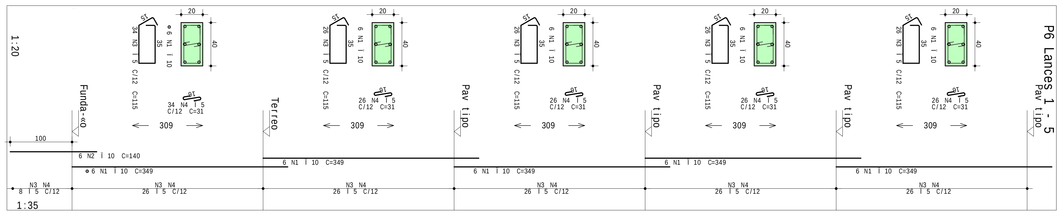
ESCALA(S)	
1:20 e 1:35	
ESCS = Vers«o Preliminar	
CLIENTE	
OBRA	
TCC - BR s/ sismo	
TITULO	
P11 Lances 1 - 5	
P12 Lances 1 - 5	
P19 Lances 1 - 5	
P23 Lances 1 - 5	
P24 Lances 1 - 5	
P33 Lances 1 - 5	
P35 Lances 1 - 5	
ARQUIVO	TCC-PAV-VIG-112-R00
DESENHO	112
FOLHA Nº	0001
REV. Nº	00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-113-R00.PLT 08/03/2025 17:27:08

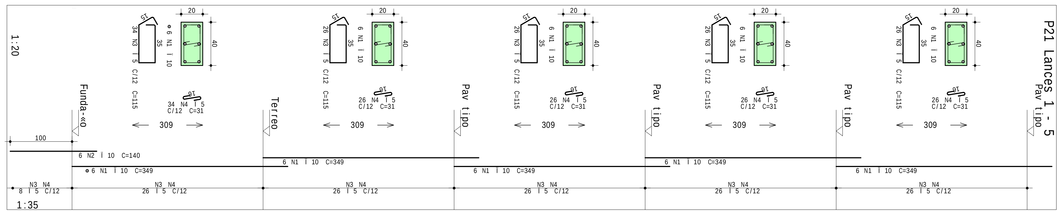
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



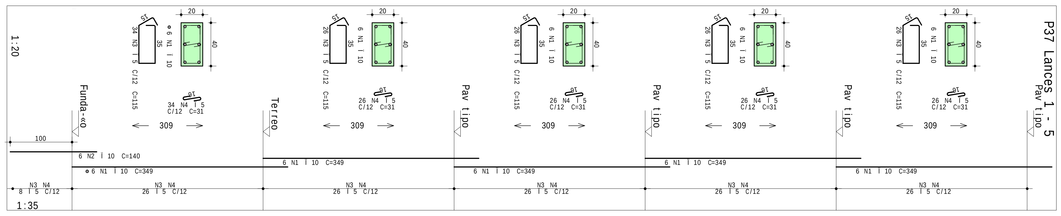
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



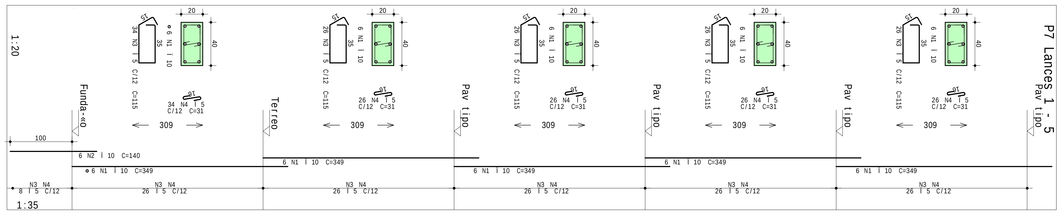
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



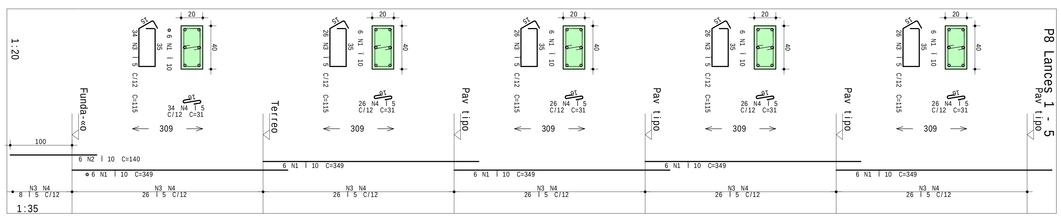
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



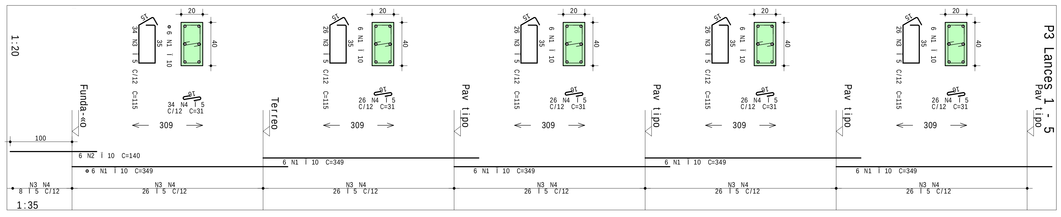
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



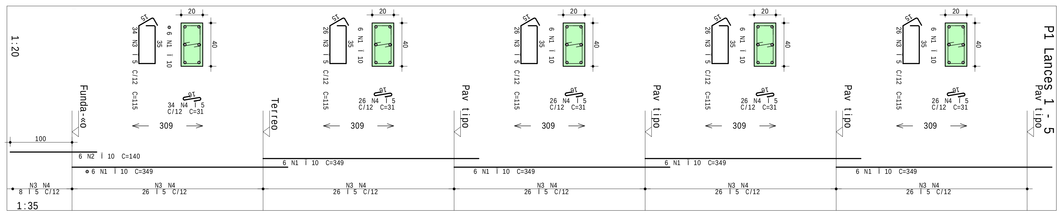
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

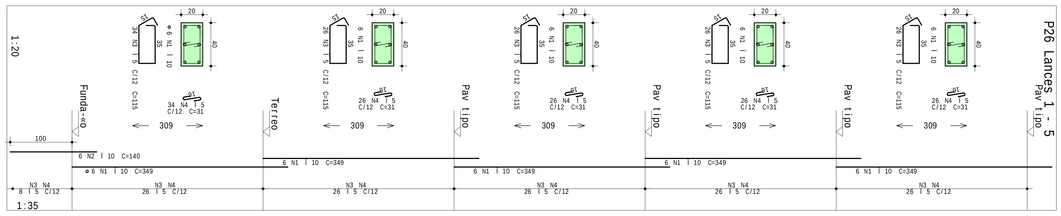


UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATINO-AMERICANA
Projeto Executivo
Prof. Dr. Eng. Civil Fabricio Gomes Gonçalves

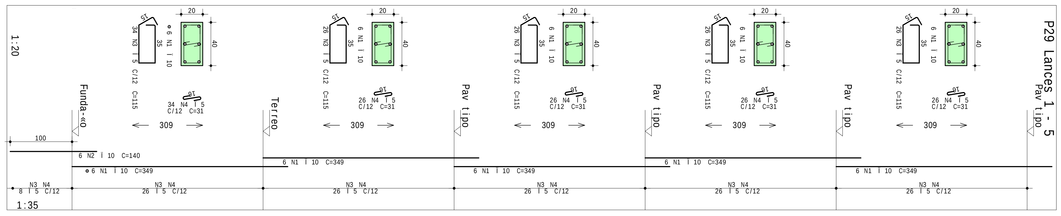
CONCRETO: fck = 30 MPa ECS = 5600 √fck = 30.67 GPa	
CLIENTE: UNILA	DWG. n°: 0001
OBRA: TCC - BR s/ sismo	SEC. n°: 113
TITULO: P1 Lances 1 - 5 P3 Lances 1 - 5 P6 Lances 1 - 5 P7 Lances 1 - 5 P8 Lances 1 - 5 P18 Lances 1 - 5 P21 Lances 1 - 5	REV. n°: 00
DESENHO: 08/03/2025	CONFERE:
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-113-R00	DATA:

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-114-R00.PLT 08/03/2025 17:27:10

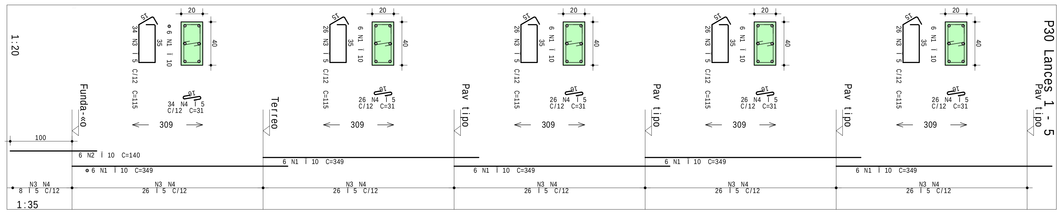
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



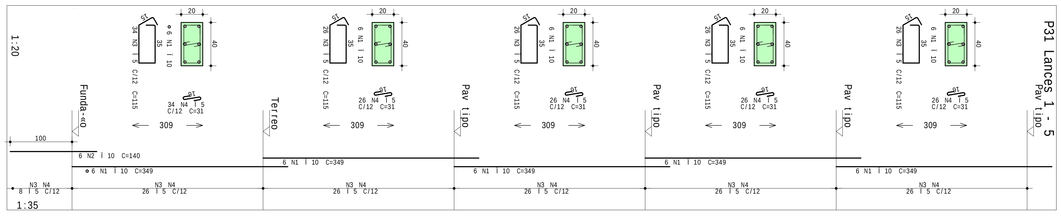
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



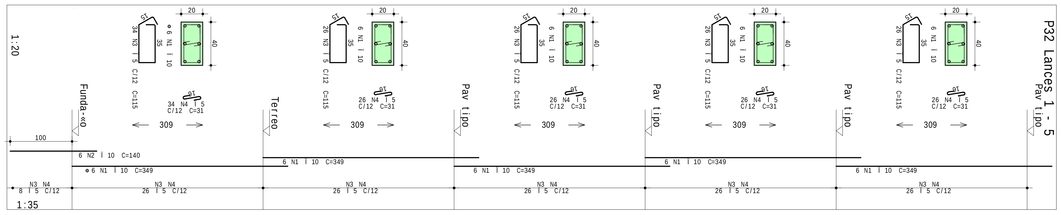
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



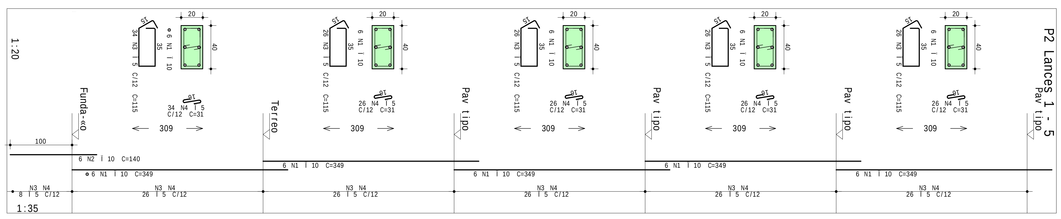
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



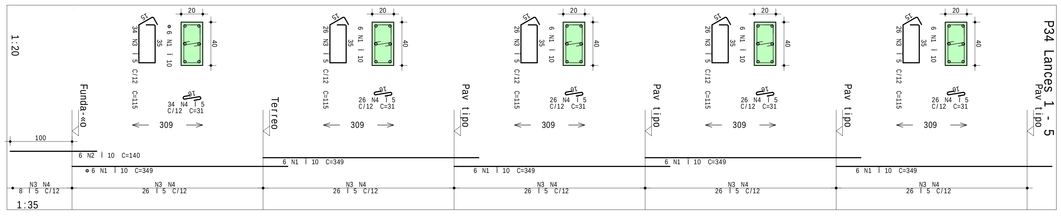
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

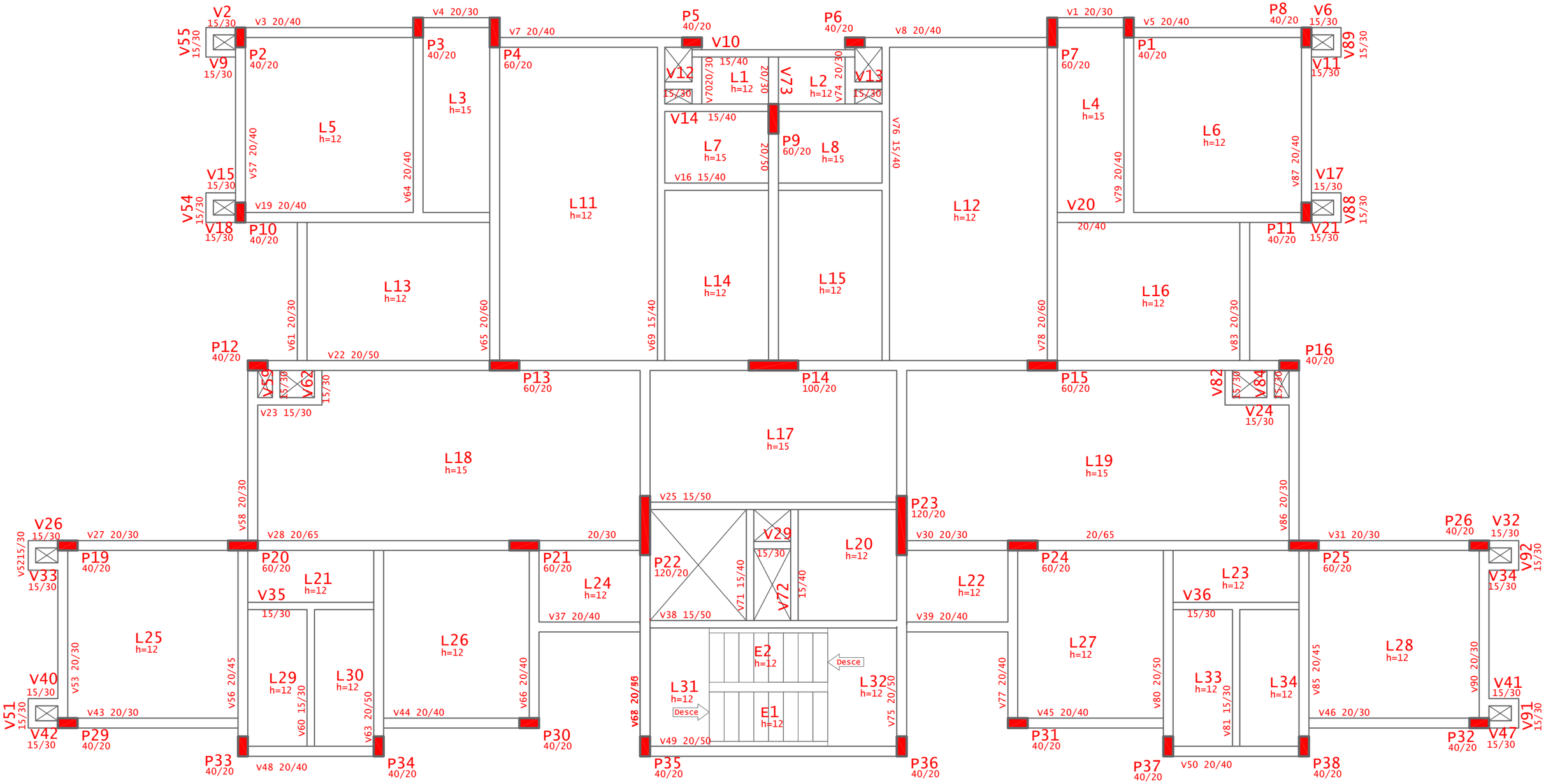


Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATINO-AMERICANA
Prof(a) Responsável:
CPF:
ART:
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO: ENGENHARIA CIVIL
UNILA
TÍTULO:
TCC - BR s/ sismo
DESENHO Nº: 0001
FOLHA Nº: 114
REVISÃO Nº: 00
P2 Lances 1 - 5
P26 Lances 1 - 5
P29 Lances 1 - 5
P30 Lances 1 - 5
P31 Lances 1 - 5
P32 Lances 1 - 5
P34 Lances 1 - 5
DATA: 08/03/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-114-R00

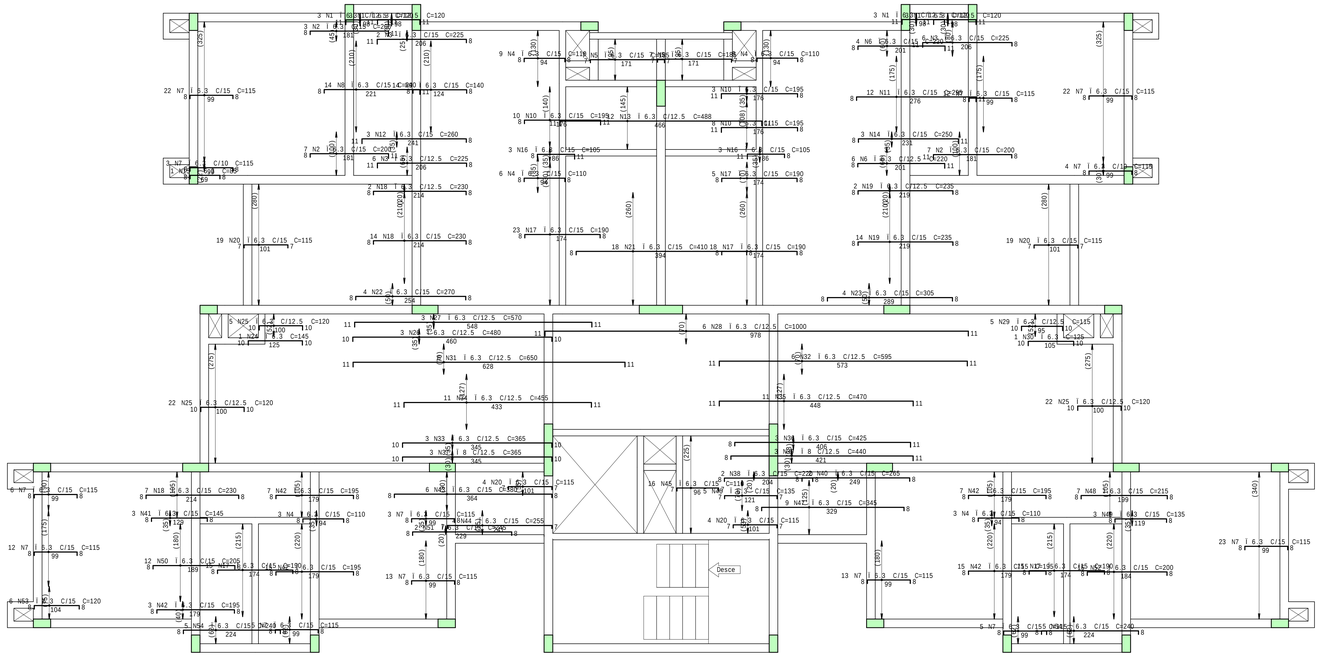
APÊNDICE C – PROJETO ESTRUTURAL (PAVIMENTO TIPO) MODELO 02



Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

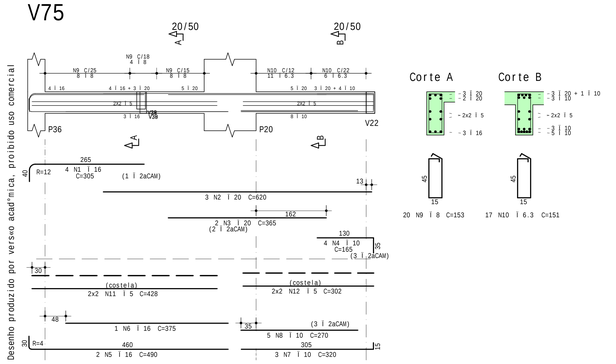
Pav tipo - Armadura negativa principal

8X





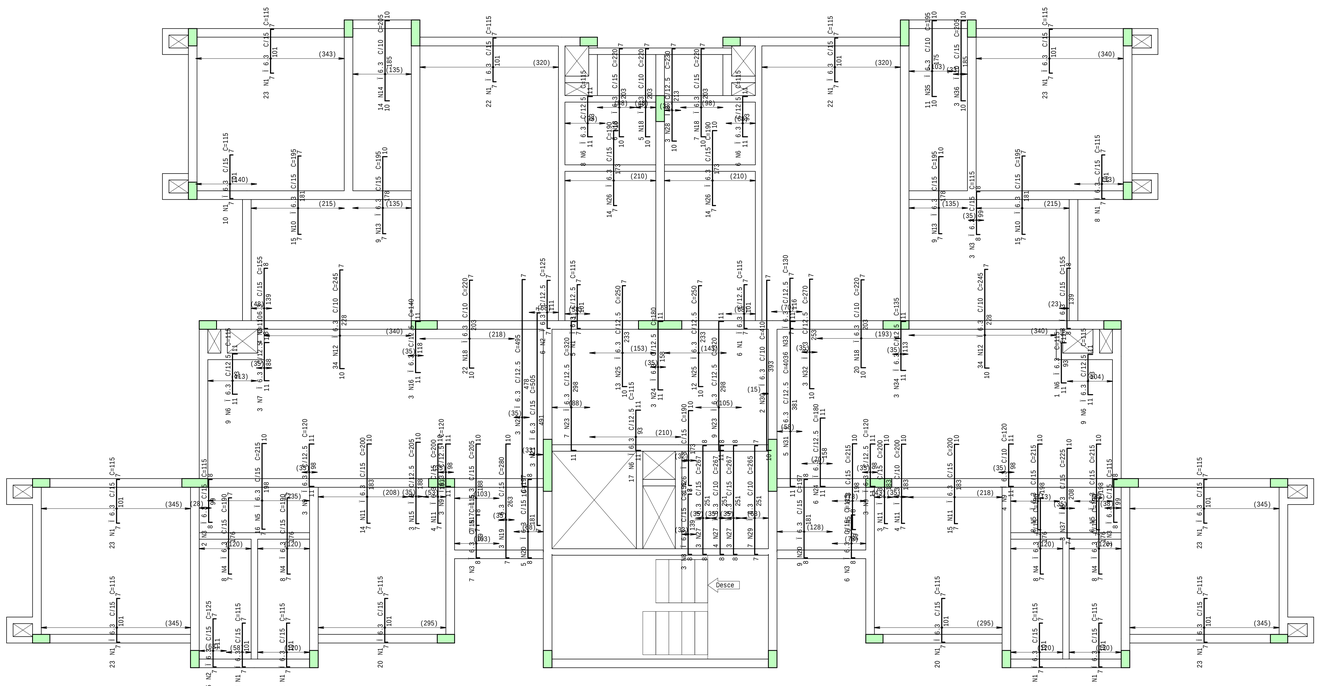
V75



71 N55 I 5 C/20 C=1140

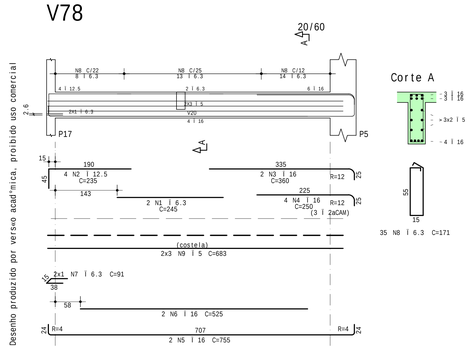
Pav tipo - Armadura negativa secundaria

8X





V78

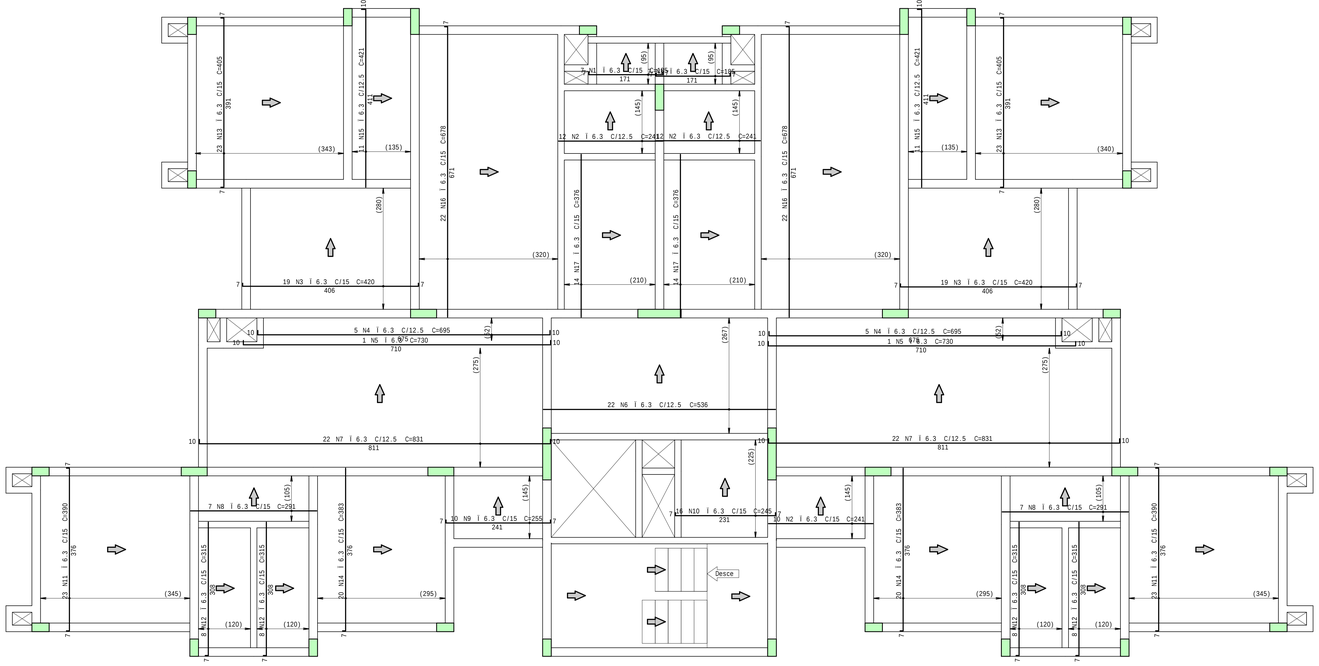


CONCRETO fck = 30 MPa ECS = 26838 MPa	OBRA N. º 0001
CLIENTE UNILA	DES. N. º 001
OBRA TCC - BR c/ sismo	
TITULO PROJETO ESTRUTURAL MODELO 02	
Pav tipo - Armadura negativa principal Pav tipo - Armadura negativa secundaria V75 / V78	REV. N. º 00
DATA 08/03/2025	ESCALA 1:50
DESENHO TCC-PAV-V1G-001-R00	CODIFO.
	ENG. º

Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATINA PL TCC-PAV-V1G-001-R00 PLT 08/03/2025 17:50:30
Vers«o Final Homologada
08/03/2025 14:20

Pav tipo - Armadura positiva secundaria

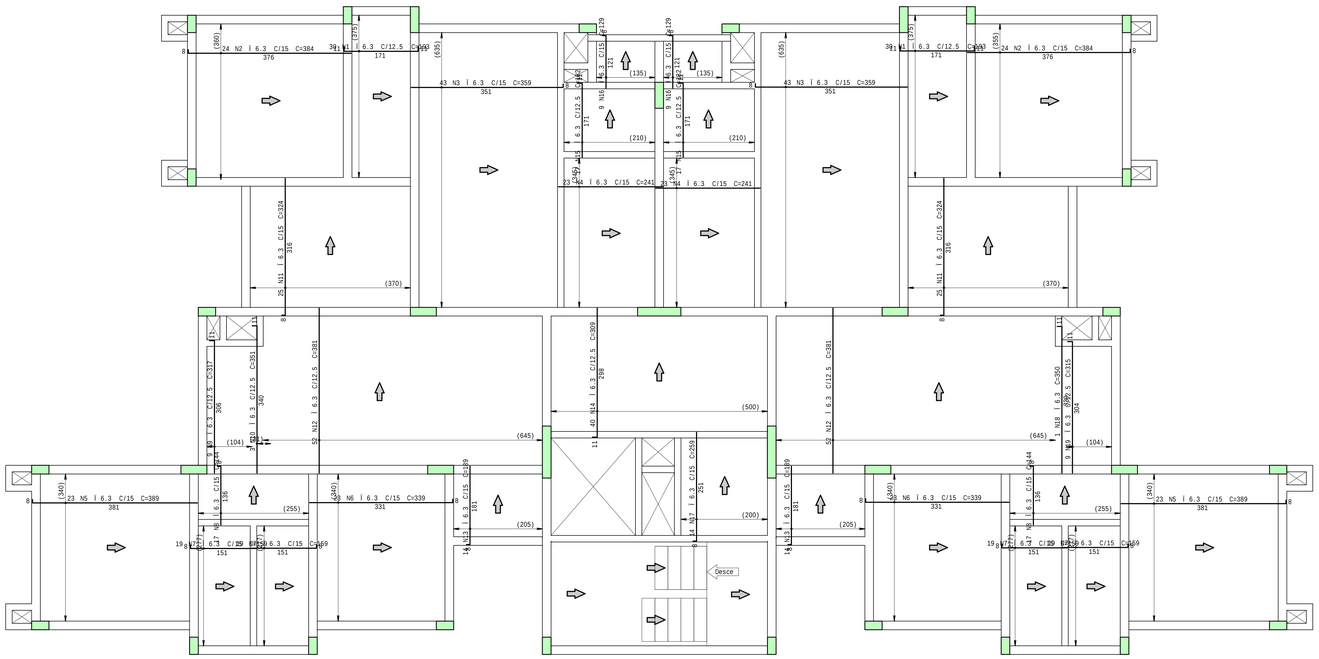
8X

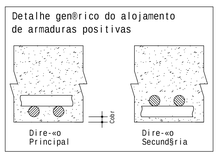




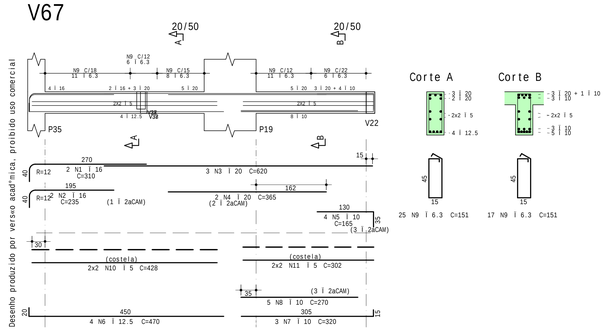
Pav tipo - Armadura positiva principal

8X

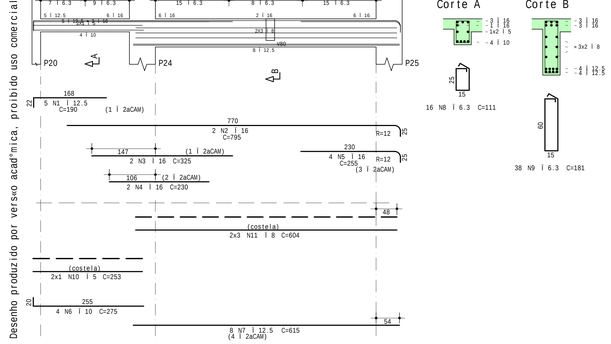




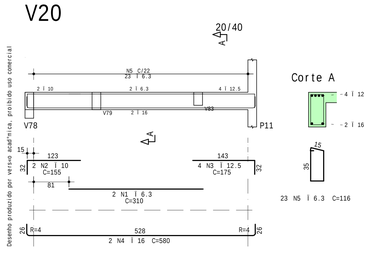
V67



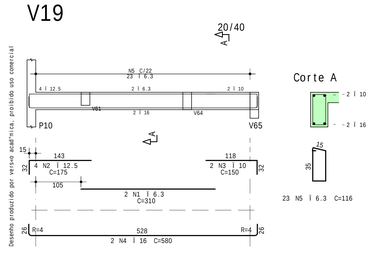
V30



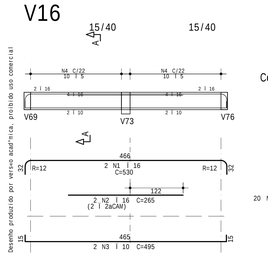
V20



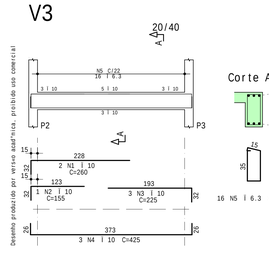
V19



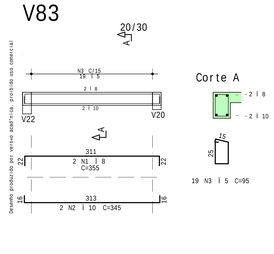
V16



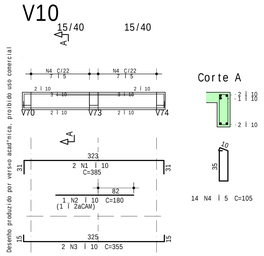
V3



V83



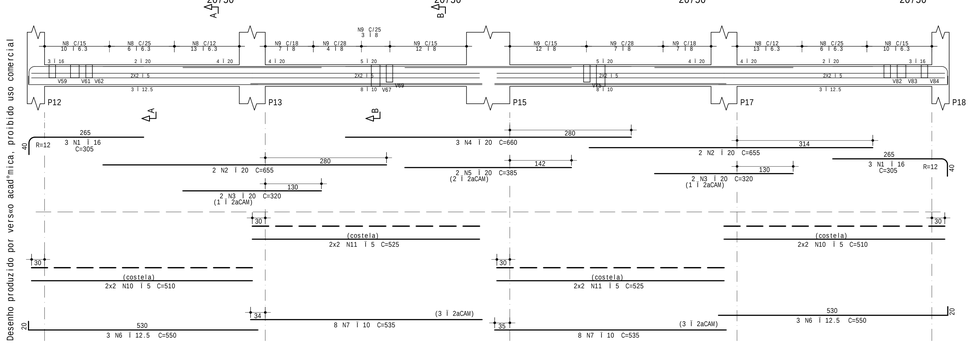
V10



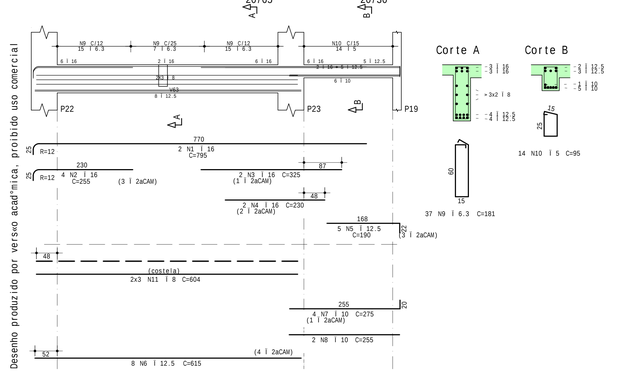
CONCRETO	
fck = 30 MPa	
ECS = 26838 MPa	
CLIENTE	UNILA
OBRA	TCC - BR c/ sismo
TITULO	Pav tipo - Armadura positiva principal Pav tipo - Armadura positiva secundaria V3 / V10 / V16 / V19 / V20 V30 / V67 / V83
DATA 08/03/2025	ESCALA 1:50
ARQUIVO TCC-PAV-V1C-002-R00	COORD.
DRW. N.º 0001	
DES. N.º 002	
REV. N.º 00	
ENG. º	

Desenho produzido por versão acadêmica, proibido uso comercial
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL TCC-PAV-V1C-002-R00.RVT 08/03/2025 17:50:32
Versão Final Homologada
08/03/2025 14:20

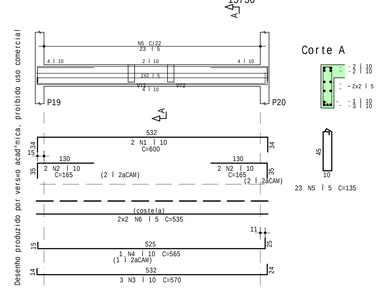
V22



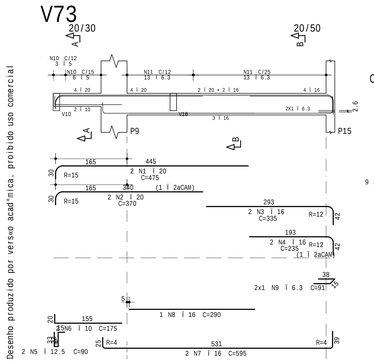
V28



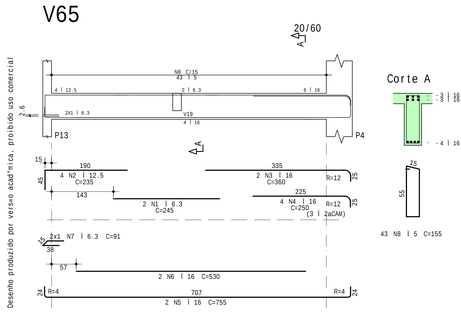
V25



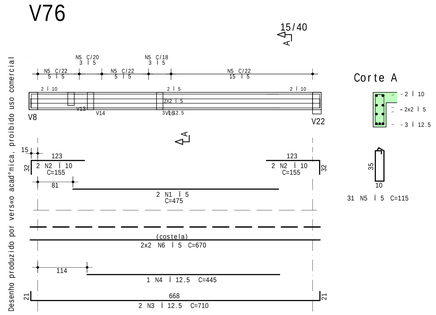
V73



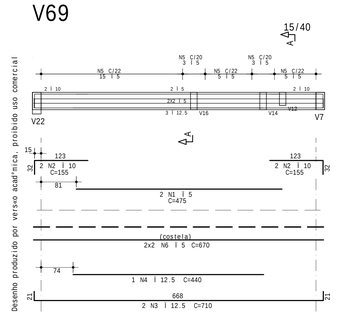
V65



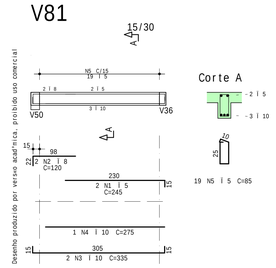
V76



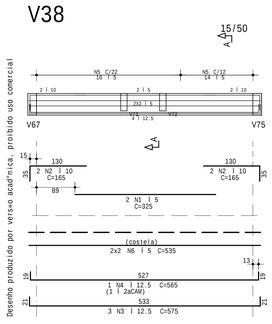
V69



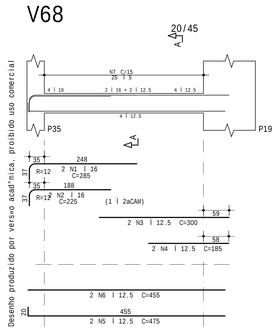
V81



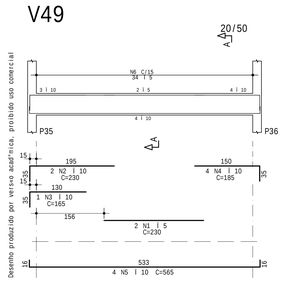
V38



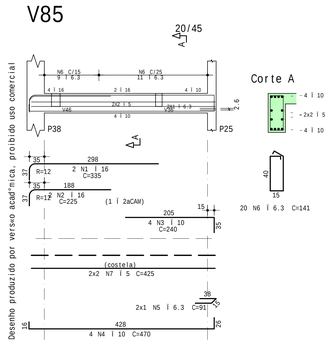
V68



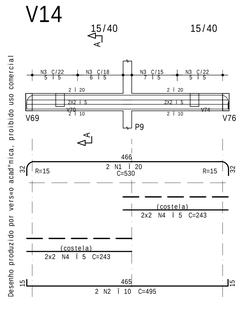
V49



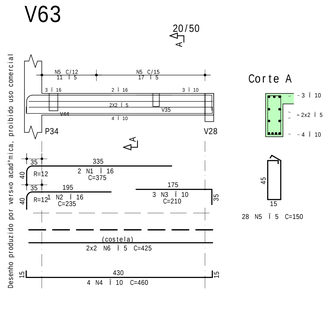
V85



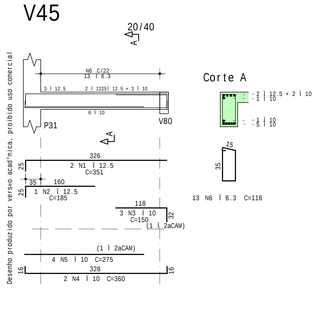
V14



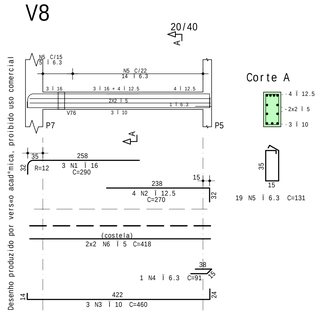
V63



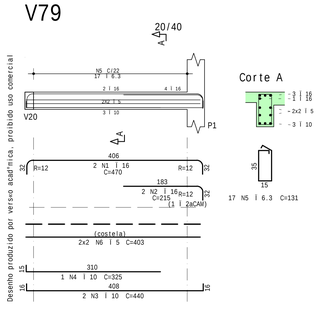
V45



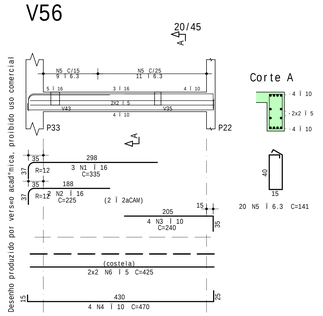
V8



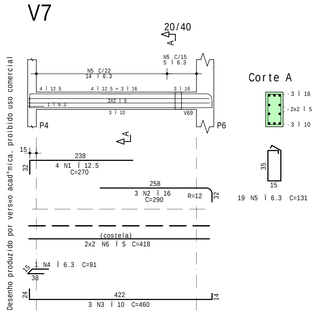
V79



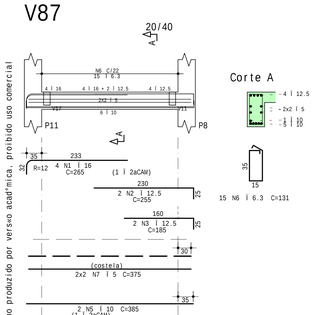
V56



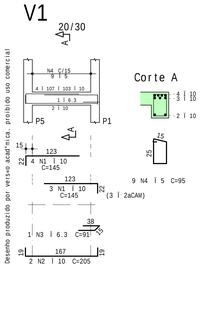
V7



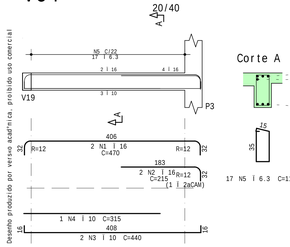
V87



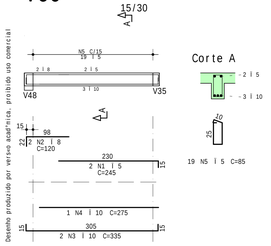
V1



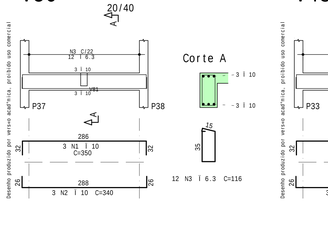
V64



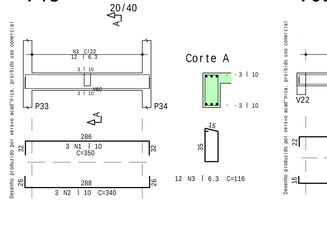
V60



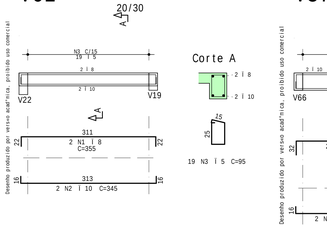
V50



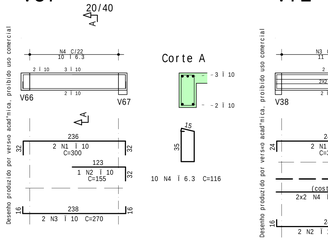
V48



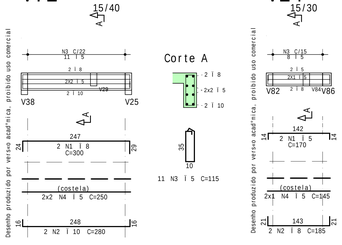
V61



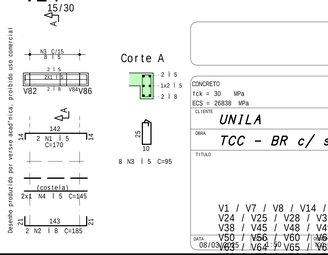
V37



V72



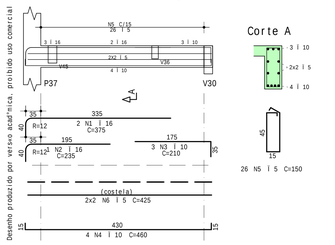
V24



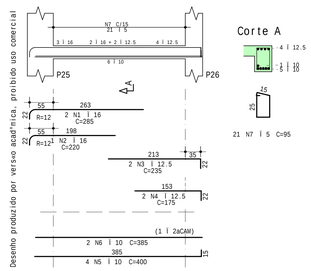
CONCRETO	OBRA N. º 0001
fck = 30 MPa	
ECS = 26838 MPa	DES. N. º 003
CLIENTE: UNILA	
OBRA: TCC - BR c/ sismo	
TÍTULO: V1 / V7 / V8 / V14 / V22 V24 / V25 / V28 / V37 V38 / V45 / V48 / V49 V50 / V56 / V60 / V61 V63 / V64 / V65 / V68 V69 / V72 / V73 / V76 V79 / V81 / V85 / V87	REV. N. º 00
DATA: 08/03/2025	ESCALA: 1:50
ARQUIVO: TCC-PAV-V1G-003-R00	COORD.
	ENG. º

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
Versão Final Homologada
08/03/2025 16:20

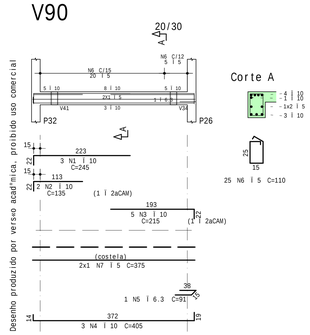
V80



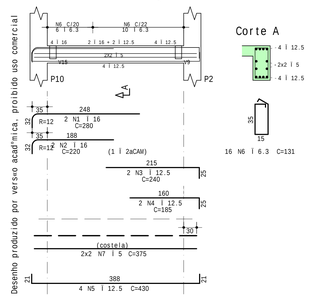
V31



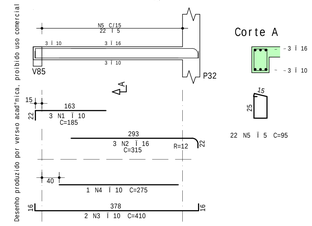
V90



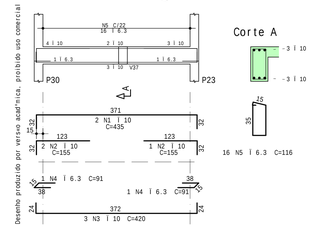
V57



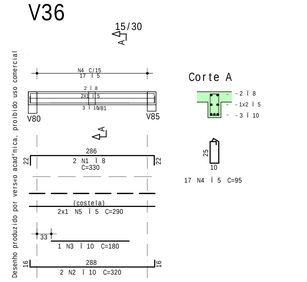
V46



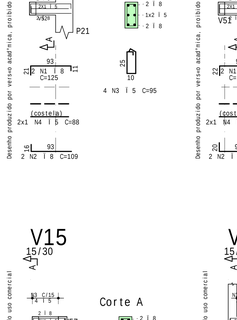
V66



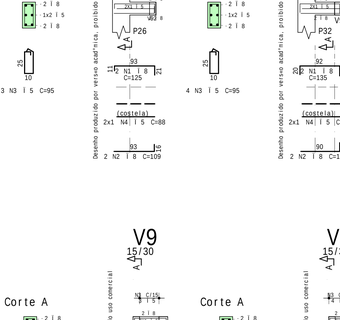
V36



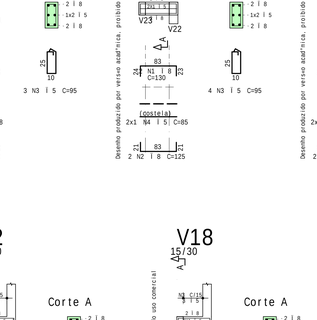
V27



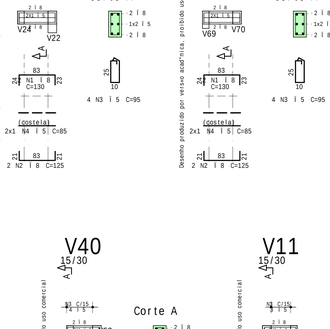
V43



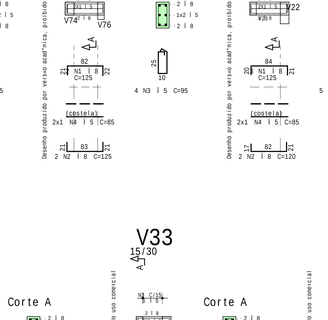
V58



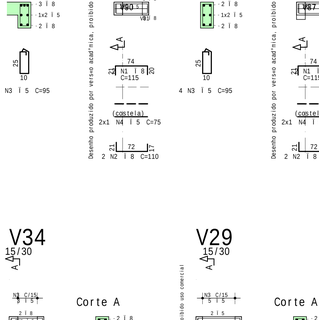
V86



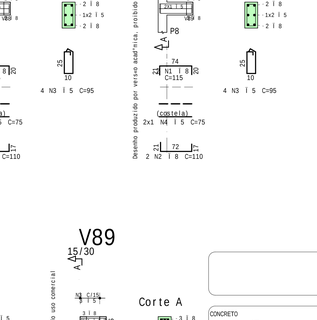
V53



V5



V77



V44

V35

V39

V71

V4

V74

V70

V23

V82

V26

V42

V32

V47

V59

V84

V12

V13

V62

V41

V17

V6

V15

V21

V9

V2

V18

V40

V11

V33

V34

V29

V89

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL_TCC-PAV-VIG-004-R00.PLT 08/09/2025 17:50:35
Versão Final Homologada
08/09/2025 14:28

CONCRETO:
fck = 30 MPa
ECS = 26838 MPa

CLIENTE: UNILA

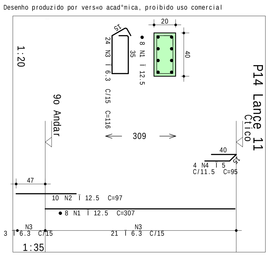
OBRA: TCC - BR c/ sismo

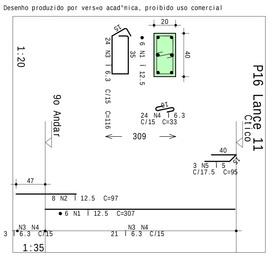
TÍTULO:
V2 / V4 / V5 / V6 / V9
V11 / V12 / V13 / V15
V17 / V18 / V21 / V23
V26 / V27 / V29 / V31
V33 / V34 / V35 / V36
V39 / V40 / V41
V42 / V43 / V44 / V46

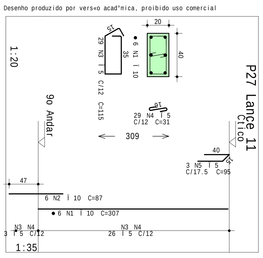
OBRA Nº: 0001
DES. Nº: 004
REV. Nº: 00
DATA: 08/09/2025
ESCALA: 1:50
ARQUIVO: PL_TCC-PAV-VIG-004-R00
ENG º:

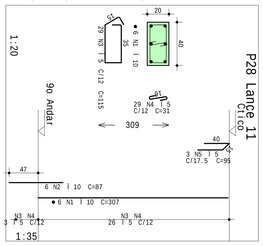
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-005-R00.PLT 08/03/2025 17:50:38

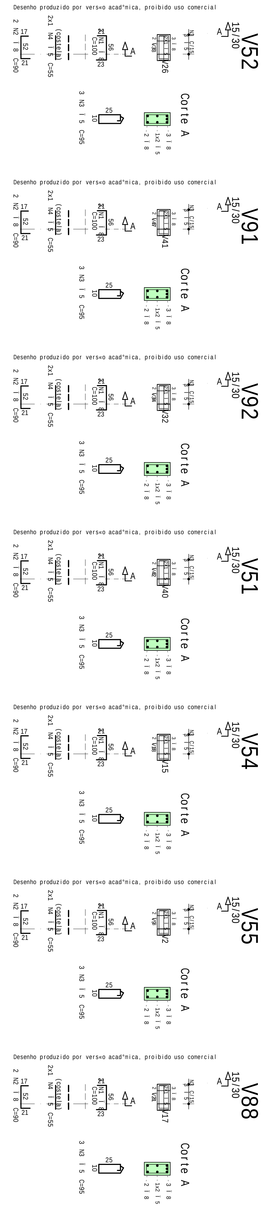
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



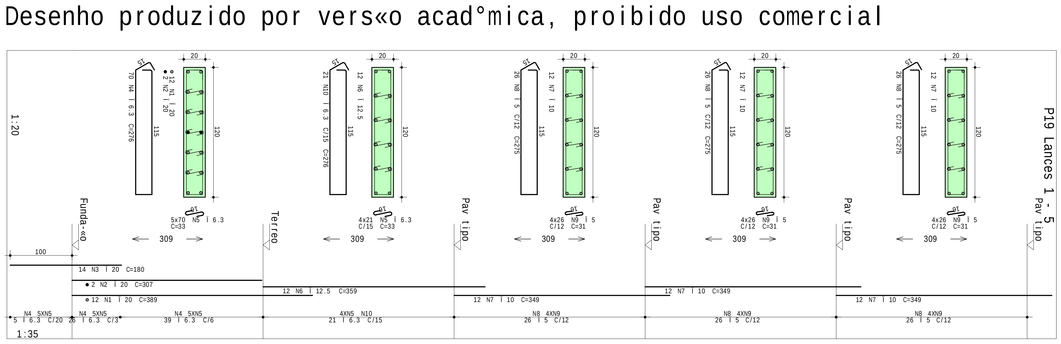




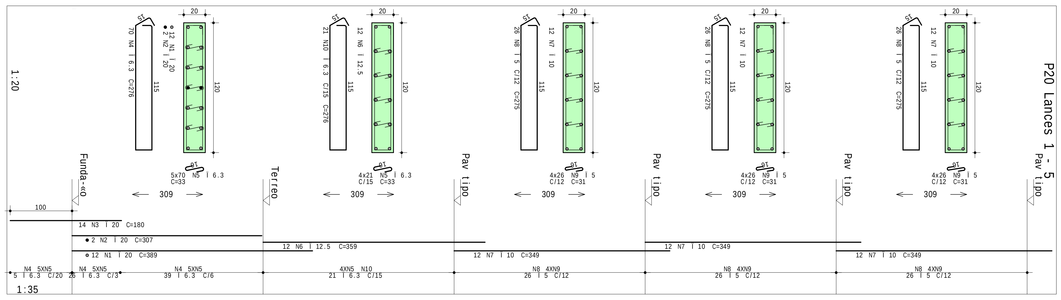




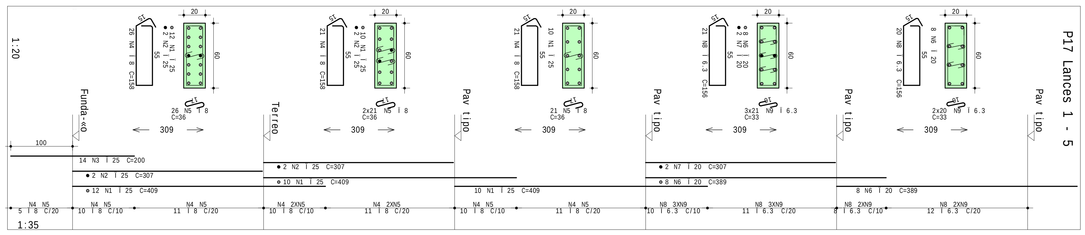
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

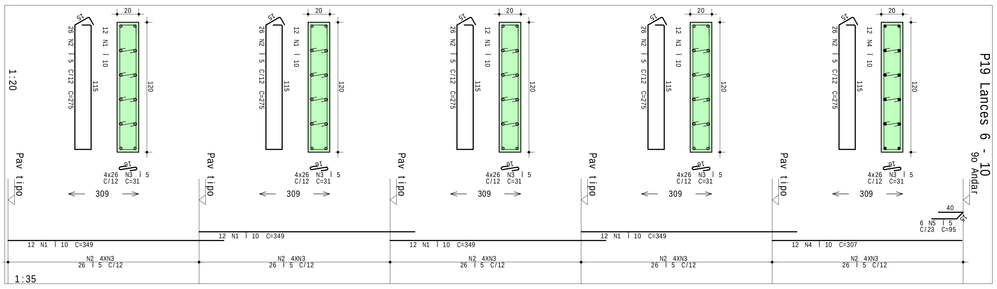
COORDENAÇÃO	
CURSO	ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA
DISCIPLINA	PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
DOCENTE	MSc. Eng. Civil Rafael Pereira Garcia
DISCENTE	
TURMA	
TÍTULO	TCC - BR c/ sismo
DWG Nº	005
REV. Nº	00
FOLHA Nº	0001
FOLHA Nº	

P14 Lance 11
P16 Lance 11
P17 Lances 1 - 5
P19 Lances 1 - 5
P20 Lances 1 - 5
P27 Lance 11
P28 Lance 11 / V52 / V54

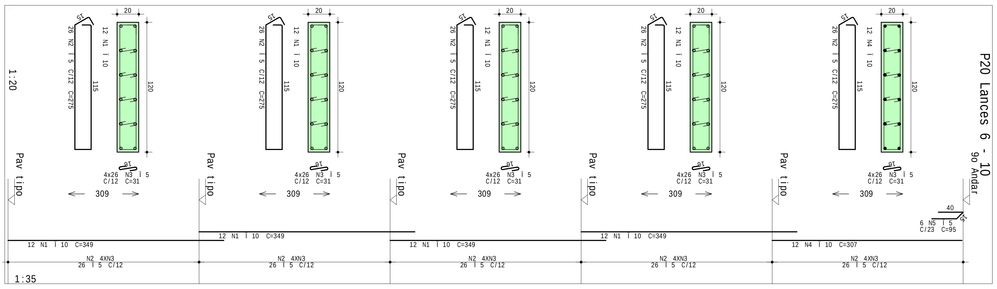
TCC-PAV-VIG-005-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-006-R00.PLT 08/03/2025 17:50:40

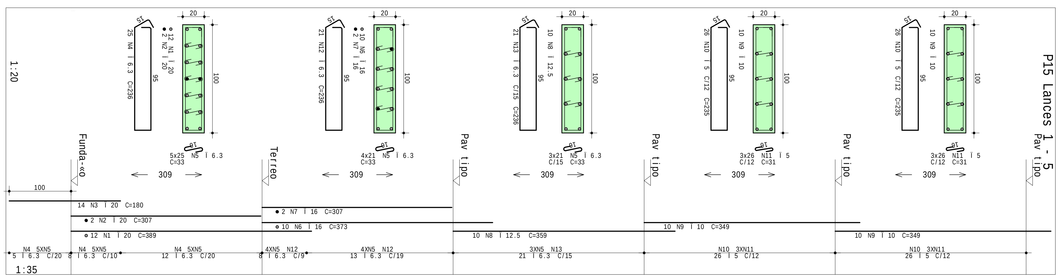
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



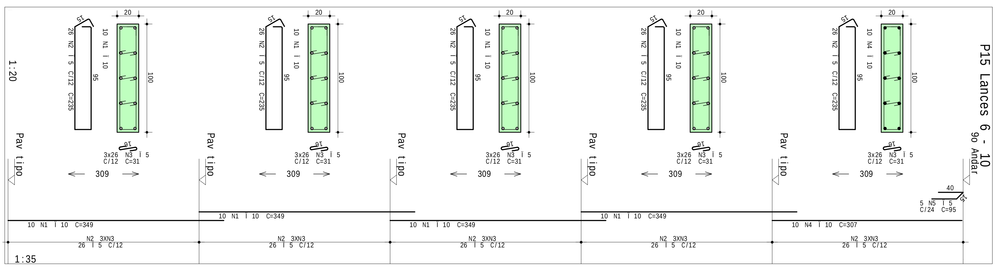
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



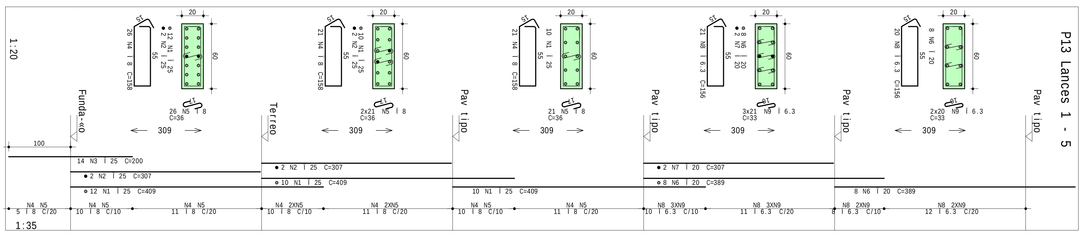
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



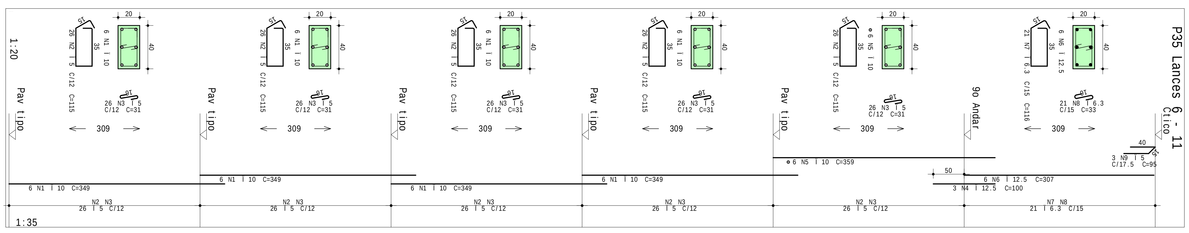
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



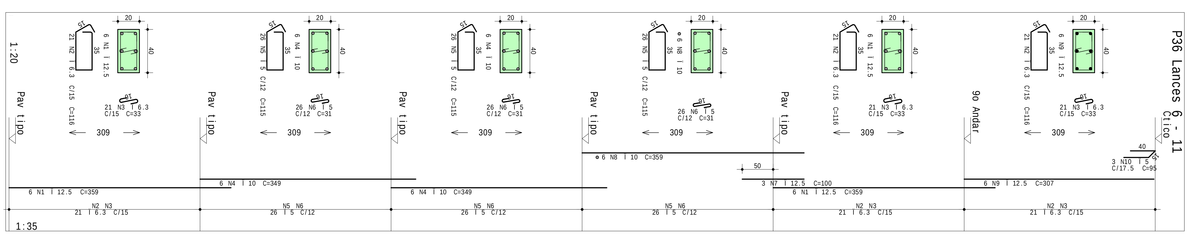
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



CONCRETO
fck = 30 MPa
ESC = VAI na Impressão
CLIENTE

UNILA

OBRA

TCC - BR c/ sismo

TITULO

006

FOLHA Nº

00

FOLHA Nº

0001

DATA

00/00/0000

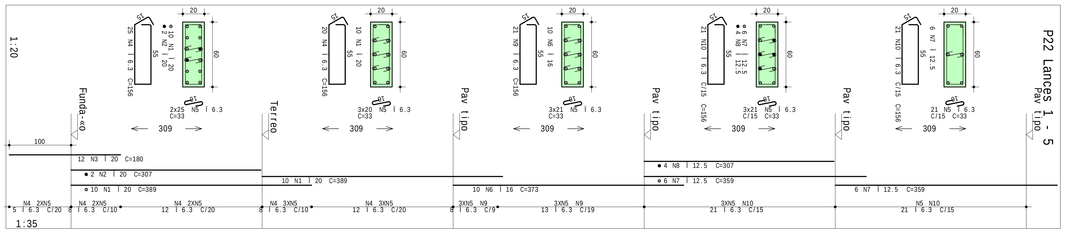
ARQUIVO

TCC-Pav-V1G-006-R00

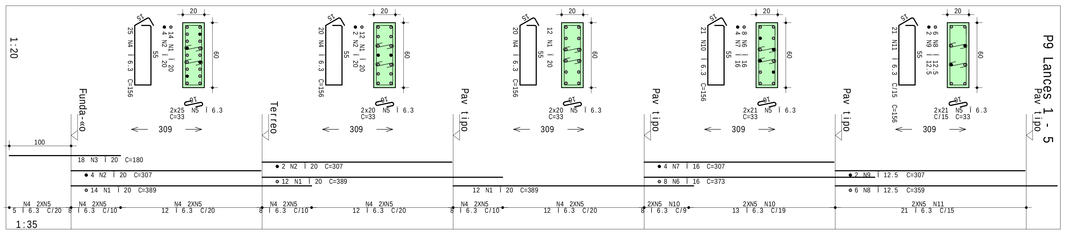
P13 Lances 1 - 5
P15 Lances 1 - 5
P15 Lances 6 - 10
P35 Lances 6 - 11
P36 Lances 6 - 11

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-007-R00.PLT 08/03/2025 17:50:42

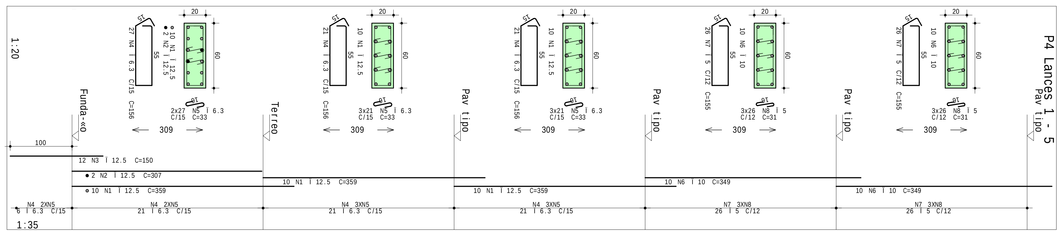
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



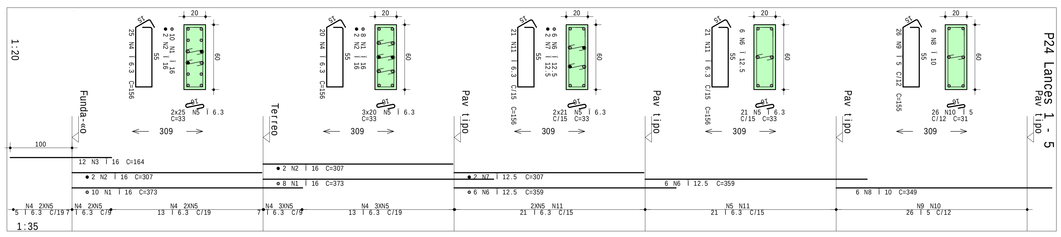
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



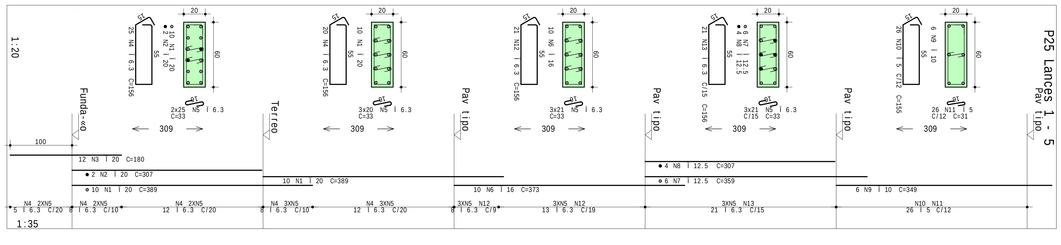
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



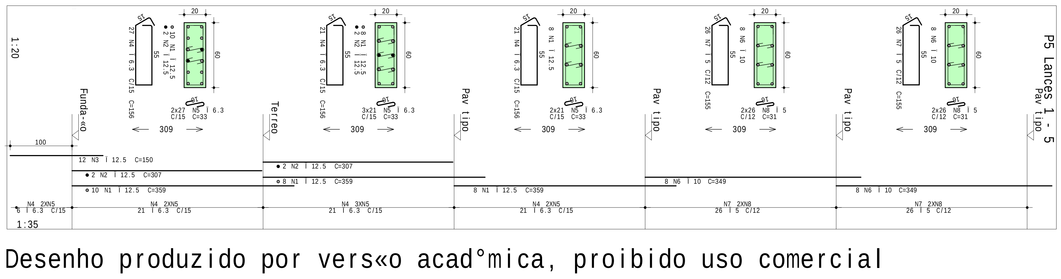
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



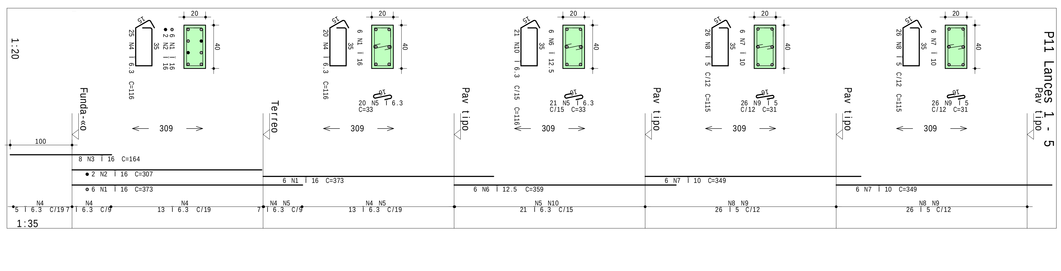
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA

ESCOLA DE ENGENHARIA

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

DISCIPLINA: TCC - BR c/ sismo

TÍTULO: P4 Lances 1 - 5
P5 Lances 1 - 5
P9 Lances 1 - 5
P11 Lances 1 - 5
P22 Lances 1 - 5
P24 Lances 1 - 5
P25 Lances 1 - 5

DOCENTE: MPA

DISCENTE: Eduardo Antonio Ferreira Silva

DATA: 08/03/2025

ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-007-R00

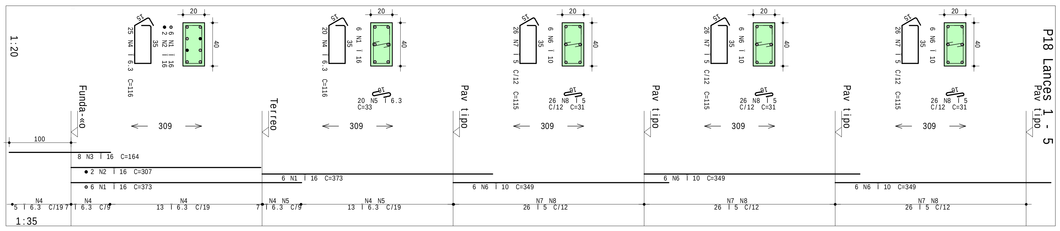
FOLHA Nº: 0001

ESC. Nº: 1:20

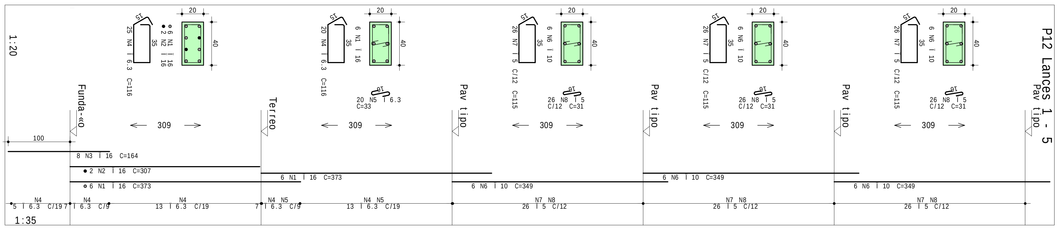
REV. Nº: 00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-008-R00.PLT 08/03/2025 17:50:43

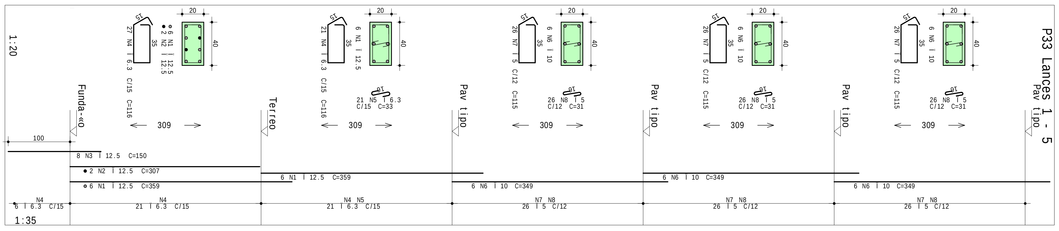
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



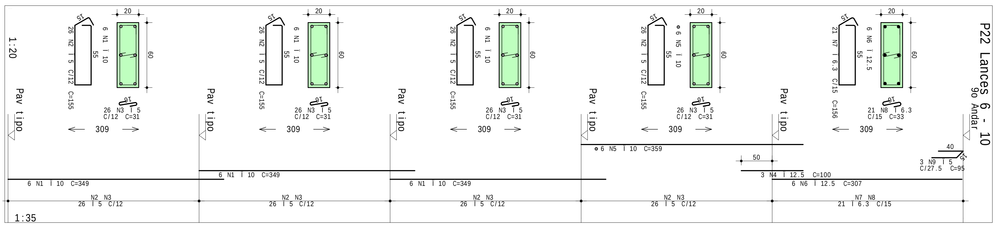
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



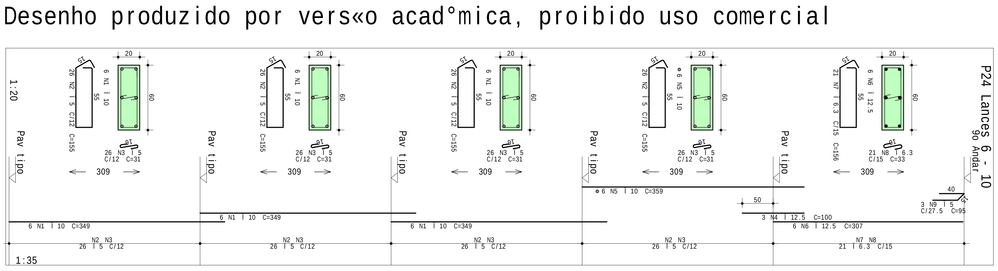
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



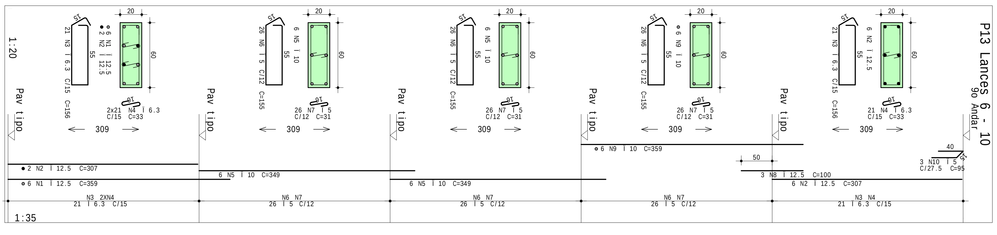
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



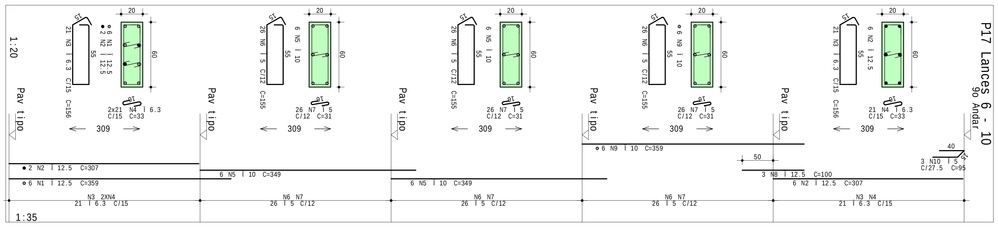
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



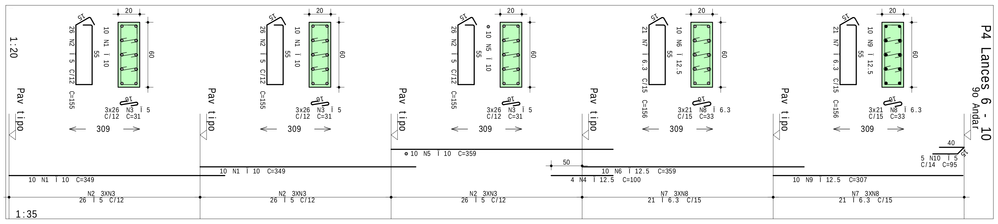
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



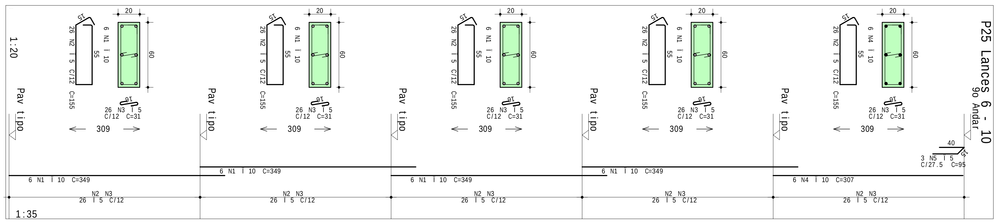
ESCOLA DE ENGENHARIA
Curso de Engenharia Civil
ECS - Vers ma Pr tica
CLIENTE
OBRA
TCC - BR c/ sismo
TITULO
P12 Lances 1 - 5
P13 Lances 6 - 10
P17 Lances 6 - 10
P18 Lances 1 - 5
P22 Lances 6 - 10
P24 Lances 6 - 10
P33 Lances 1 - 5
CONTEÚDO
ARQUIVO TCC-PAV-VIG-008-R00
FOLHA Nº 0001
DATA Nº 008
REV. Nº 00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-009-R00.PLT 08/03/2025 17:50:44

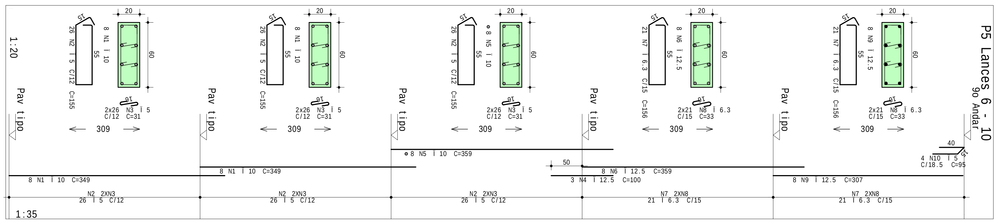
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



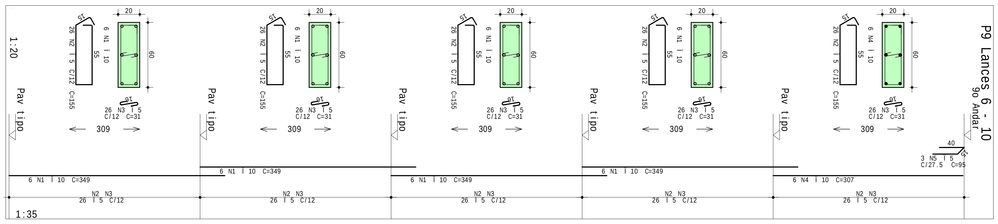
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



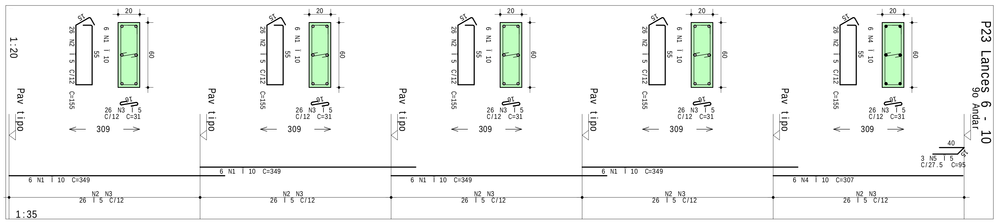
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



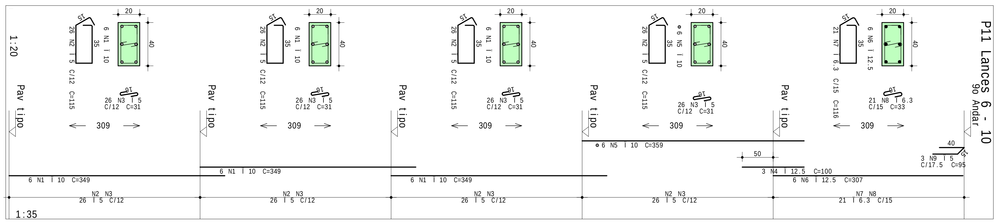
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



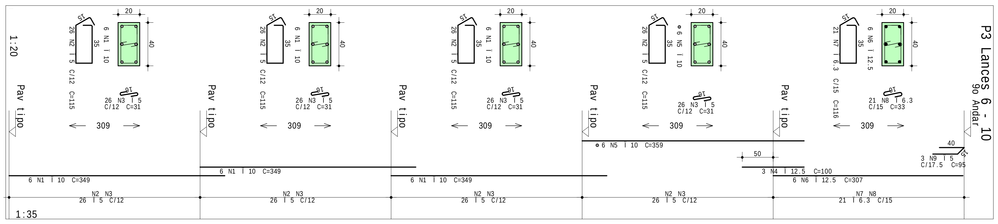
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



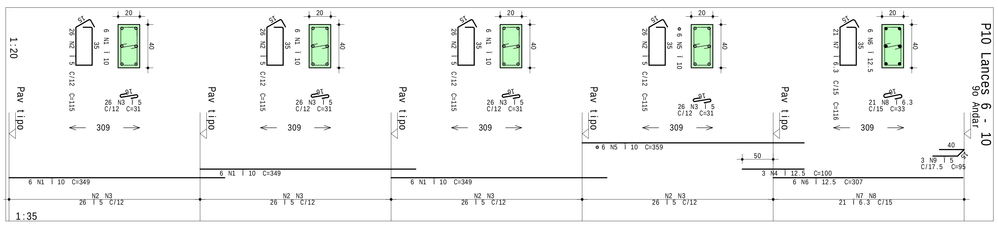
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



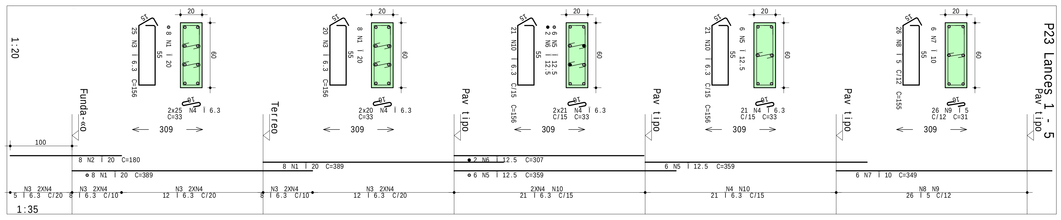
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



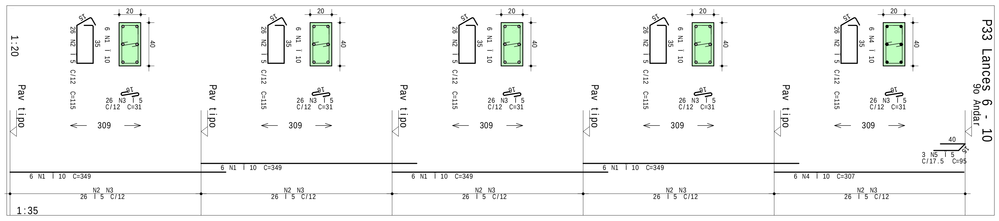
DISCIPLINA	FOLHA Nº
TCC - PAV - VIG	0001
ESC. 1: 1:1 / 1:2 / 1:5 / 1:10 / 1:20 / 1:25 / 1:50 / 1:100 / 1:200 / 1:250 / 1:500 / 1:1000	
CLIENTE	
OBRA	
UNILA	
TCC - BR c/ sismo	
TÍTULO	
P3 Lances 6 - 10 P4 Lances 6 - 10 P5 Lances 6 - 10 P9 Lances 6 - 10 P10 Lances 6 - 10 P11 Lances 6 - 10 P23 Lances 6 - 10 P25 Lances 6 - 10	009
DATA	REV. Nº
08/03/2025	00
ARQUIVO	CÓDIGO
TCC-Pav-V10-009-R00	

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-V1G-010-R00.PLT 08/03/2025 17:50:46

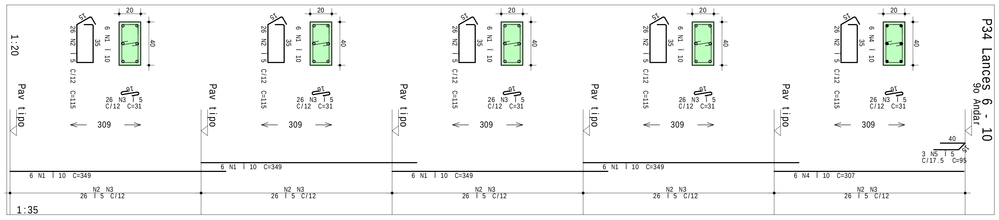
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



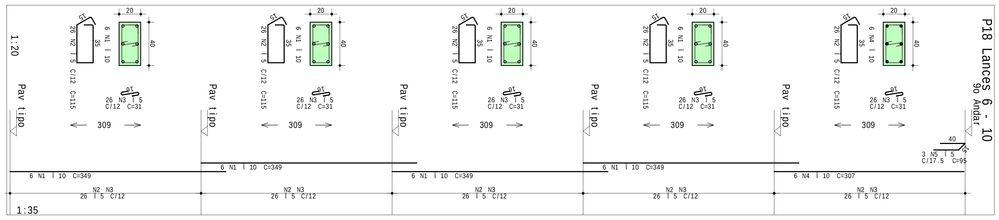
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



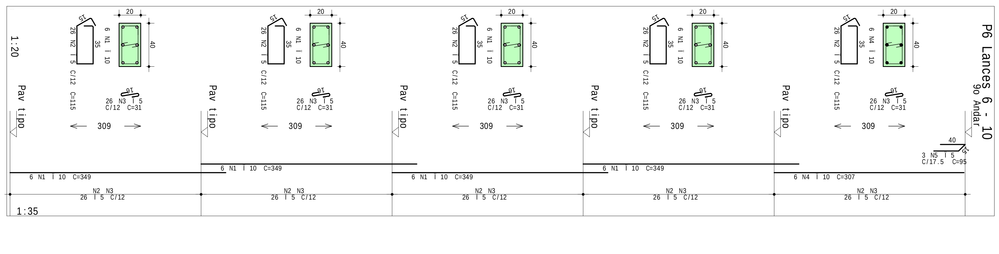
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

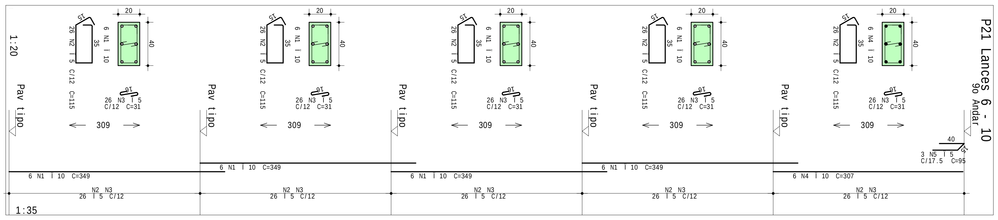


Projeto	TCC - BR c/ sismo
Cliente	UNILA
Título	P2 Lances 6 - 10 P6 Lances 6 - 10 P7 Lances 6 - 10 P18 Lances 6 - 10 P21 Lances 6 - 10 P23 Lances 1 - 5
Folha nº	0001
Rev. nº	00
Escala	010
Arquivo	TCC-PAV-V1G-010-R00

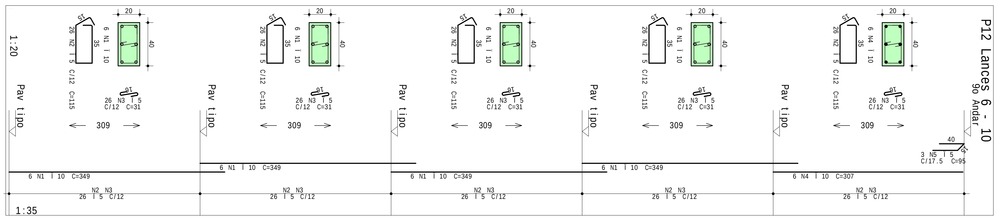
ACAD 2020/2018/2013
modificado em 08/03/2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-011-R00.PLT 08/03/2025 17:50:47

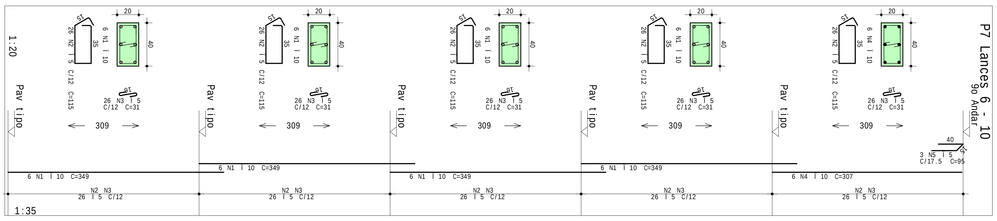
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



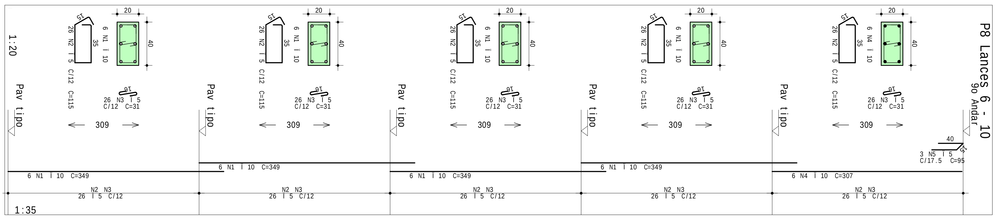
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



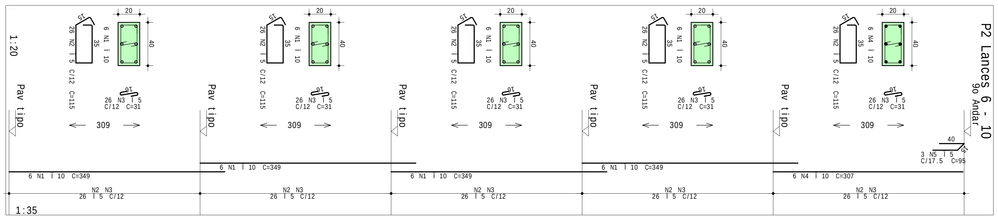
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



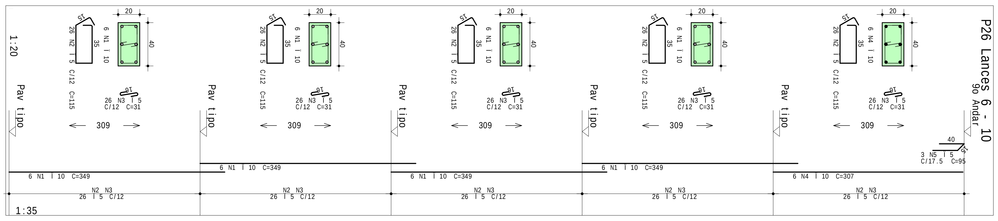
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



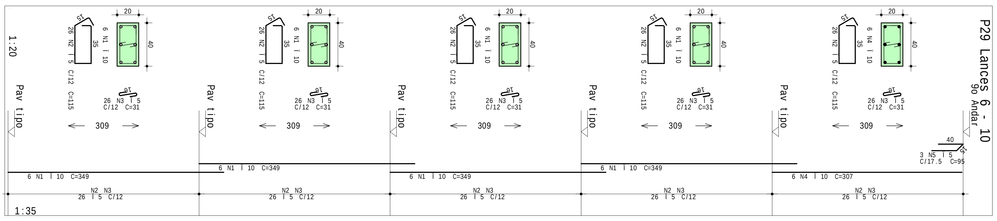
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



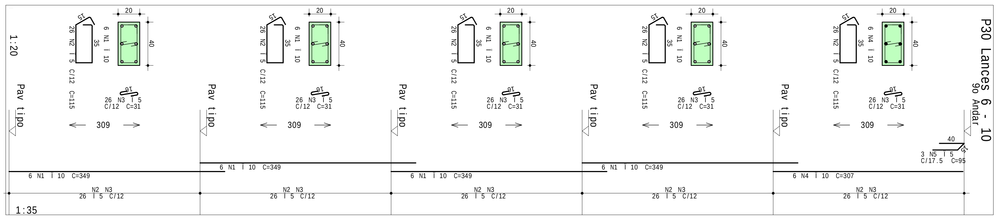
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



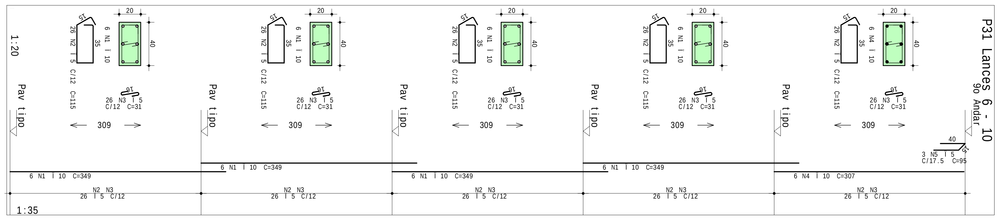
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



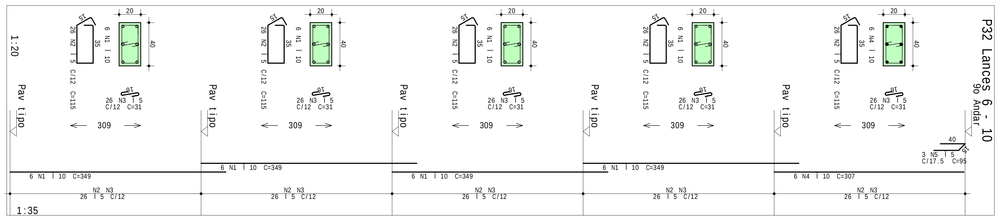
ESCALA: 1:20
UNIDADES: m
ESCALA VARIÁVEL
CLIENTE: UNILA
OBRA: TCC - BR c/ sismo
TÍTULO: P1 Lances 6 - 10
P18 Lances 6 - 10
P29 Lances 6 - 10
P8 Lances 6 - 10
P26 Lances 6 - 10
P12 Lances 6 - 10
P21 Lances 6 - 10
P2 Lances 6 - 10
P30 Lances 6 - 10
P7 Lances 6 - 10
DATA: 08/03/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-011-R00
FOLHA Nº: 0001
SEC. Nº: 011
REV. Nº: 00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-012-R00.PLT 08/03/2025 17:50:49

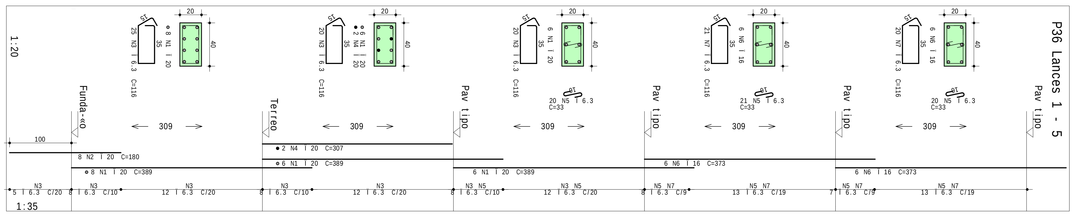
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



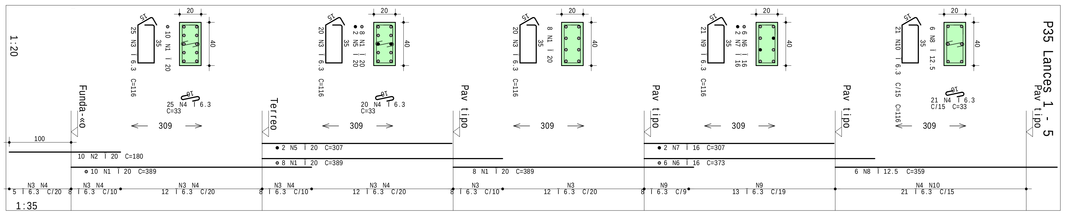
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



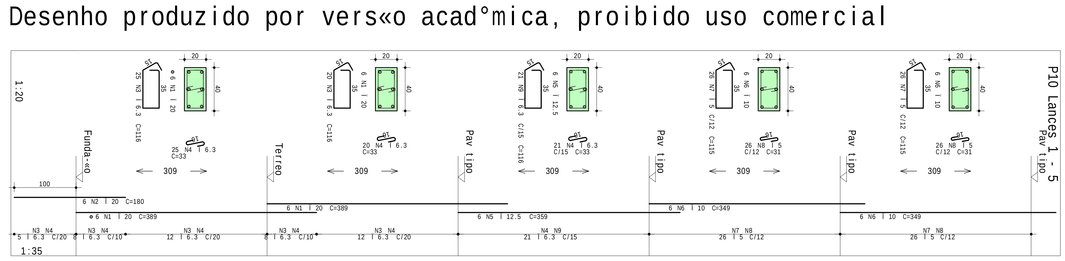
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



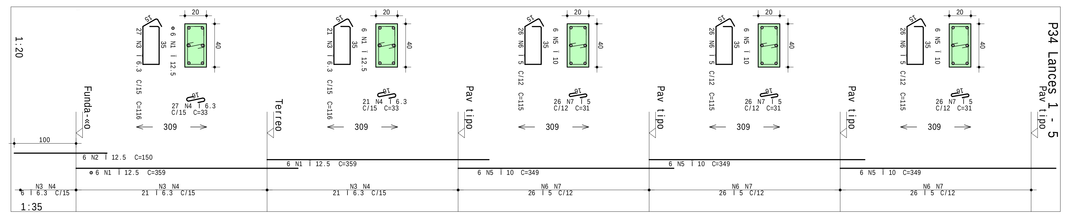
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



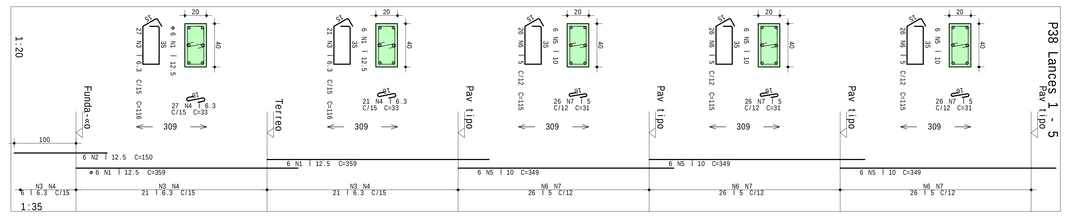
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



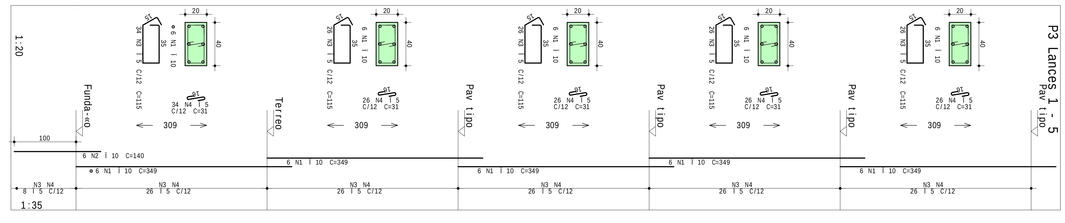
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



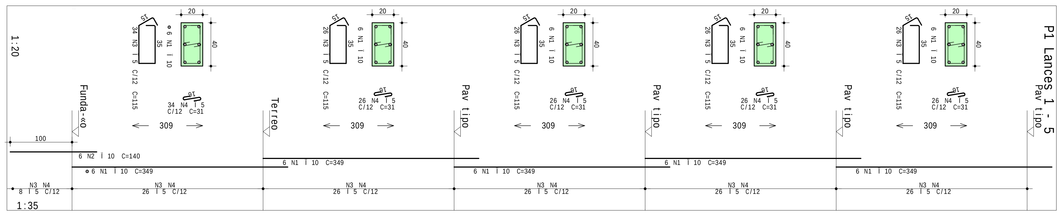
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



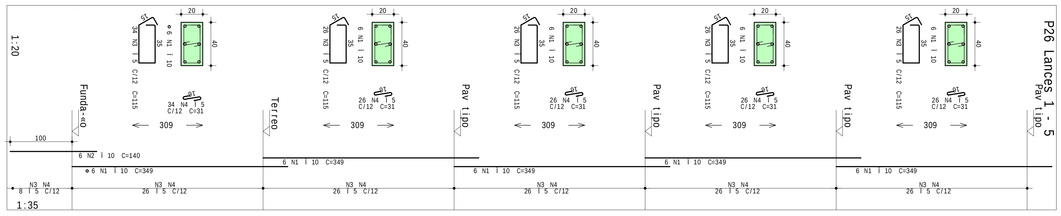
PROJETISTA
TCC - BR
ECS - V. VII. PA. BRASIL
CLIENTE
UNILA
OBRA
TCC - BR c/ sismo
TITULO
P6 Lances 1 - 5
P10 Lances 1 - 5
P34 Lances 1 - 5
P35 Lances 1 - 5
P36 Lances 6 - 10
P37 Lances 1 - 5
P38 Lances 1 - 5
ARQUIVO
TCC-PAV-VIG-012-R00
ESCALA
1:20 1:35
FOLHA Nº
0001
DES. Nº
012
REV. Nº
00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-013-R00.PLT 08/03/2025 17:50:50

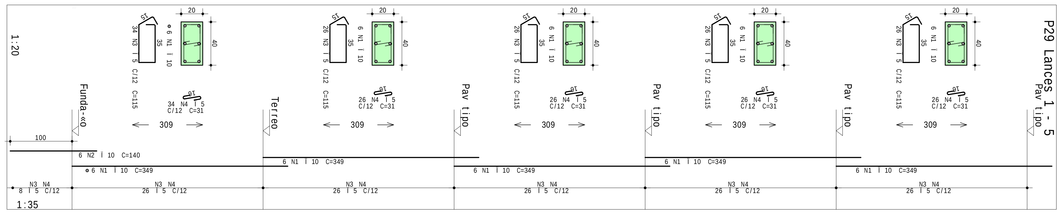
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



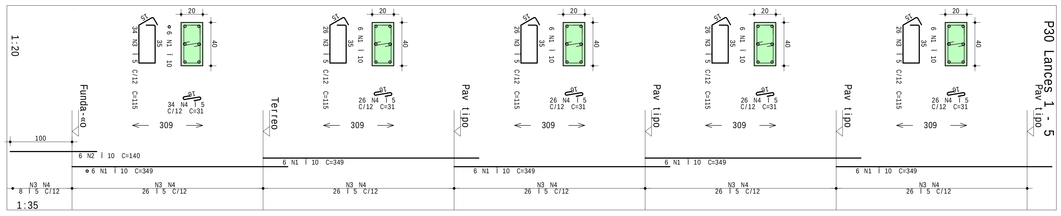
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



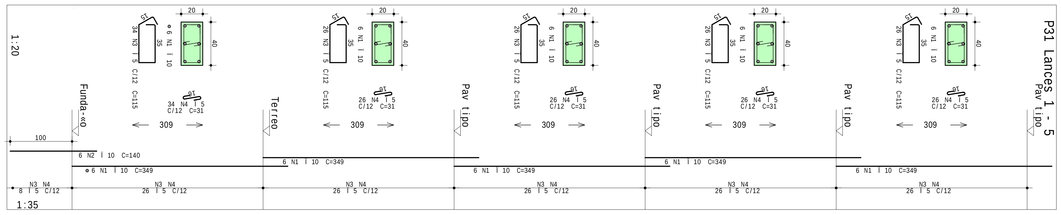
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



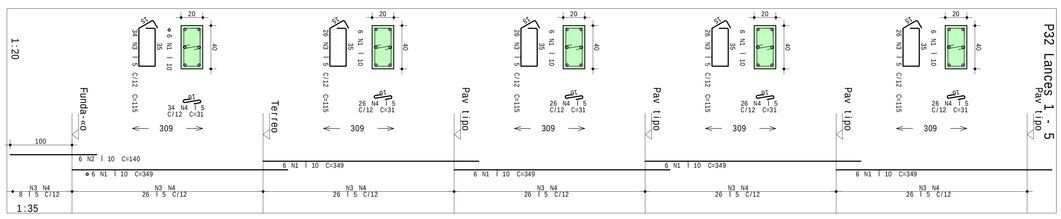
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



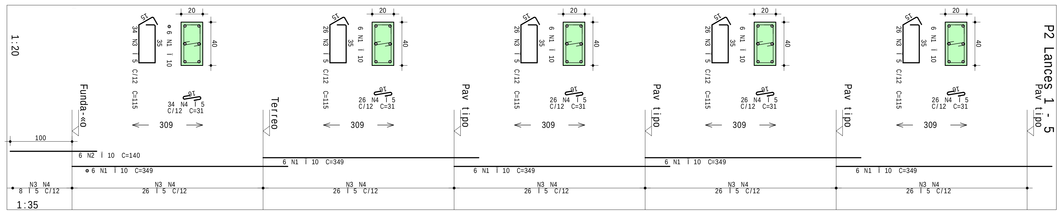
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



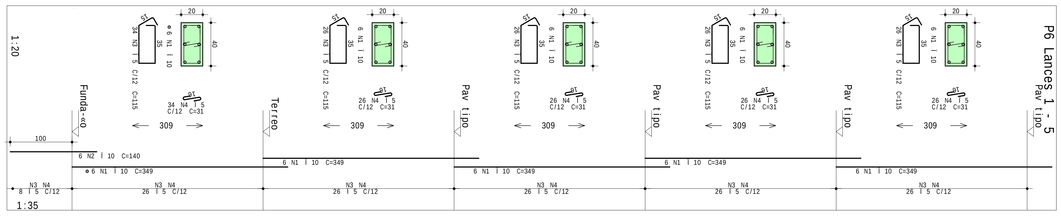
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



CONCRETO
fck = 30 MPa
ECS = 5600 √fck MPa

CLIENTE
UNILA

OBRA
TCC - BR c/ sismo

TÍTULO
PROJETO ESTRUTURAL

P1 Lances 1 - 5
P3 Lances 1 - 5
P7 Lances 1 - 5
P26 Lances 1 - 5
P29 Lances 1 - 5

FOLHA Nº	FOLHAS
0001	

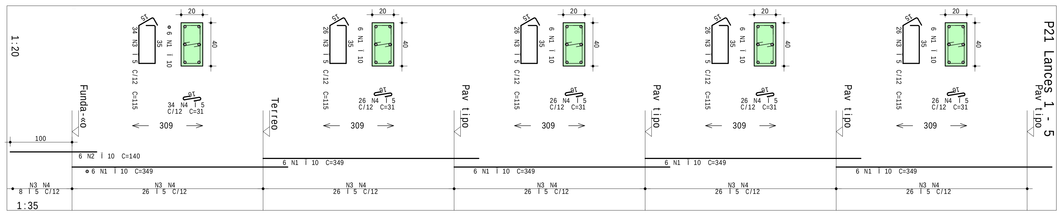
ARQUIVO Nº	ESCALA
013	

REVISÃO Nº	DATA
00	

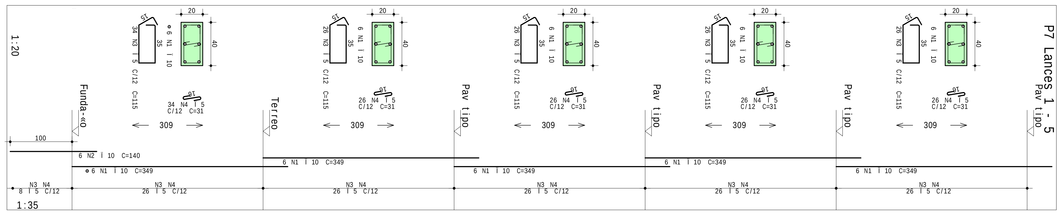
TCC-PAV-VIG-013-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-014-R00.PLT 08/03/2025 17:50:52

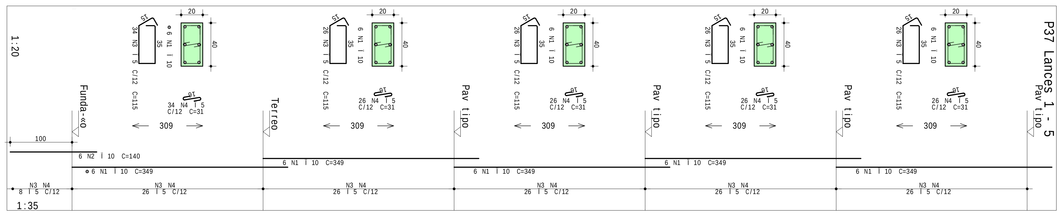
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



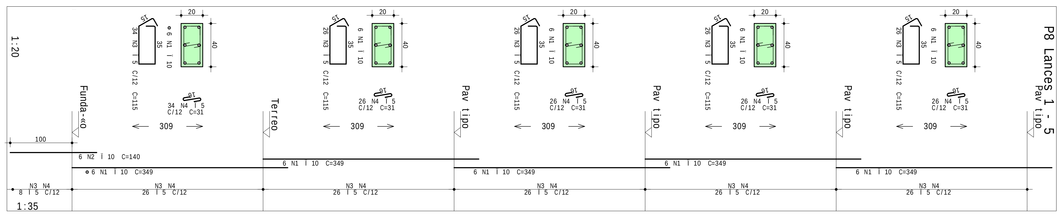
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

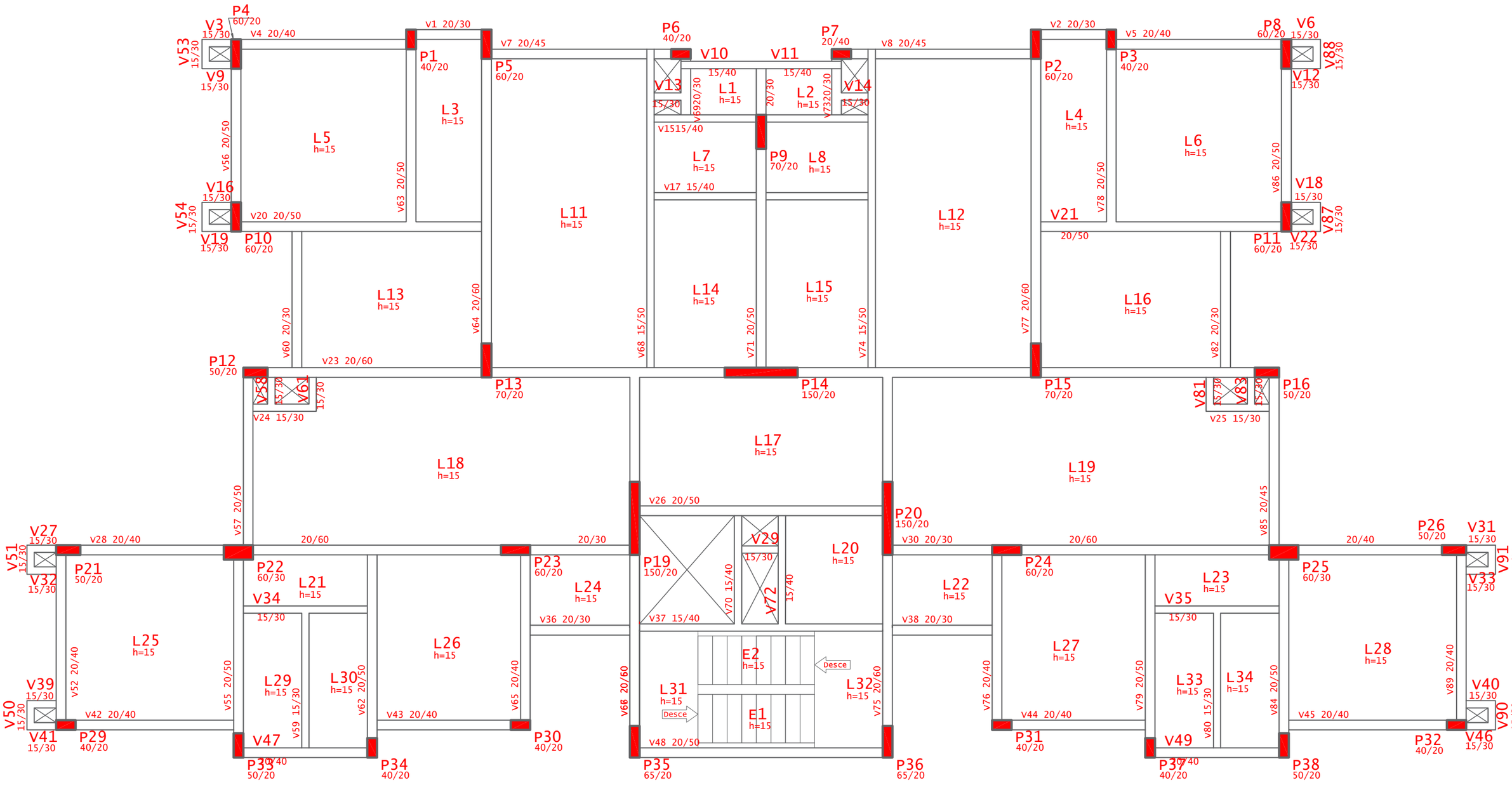


Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



ESCALA: 1:20
DATA: 08/03/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-014-R00
CONFERIU:
DESENHOU: Wgm
ESCALA: 1:20
UNILA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
TCC - BR c/ sismo
P2 Lances 1 - 5
P30 Lances 1 - 5
P31 Lances 1 - 5
P7 Lances 1 - 5
08/03/2025
014
00
0001

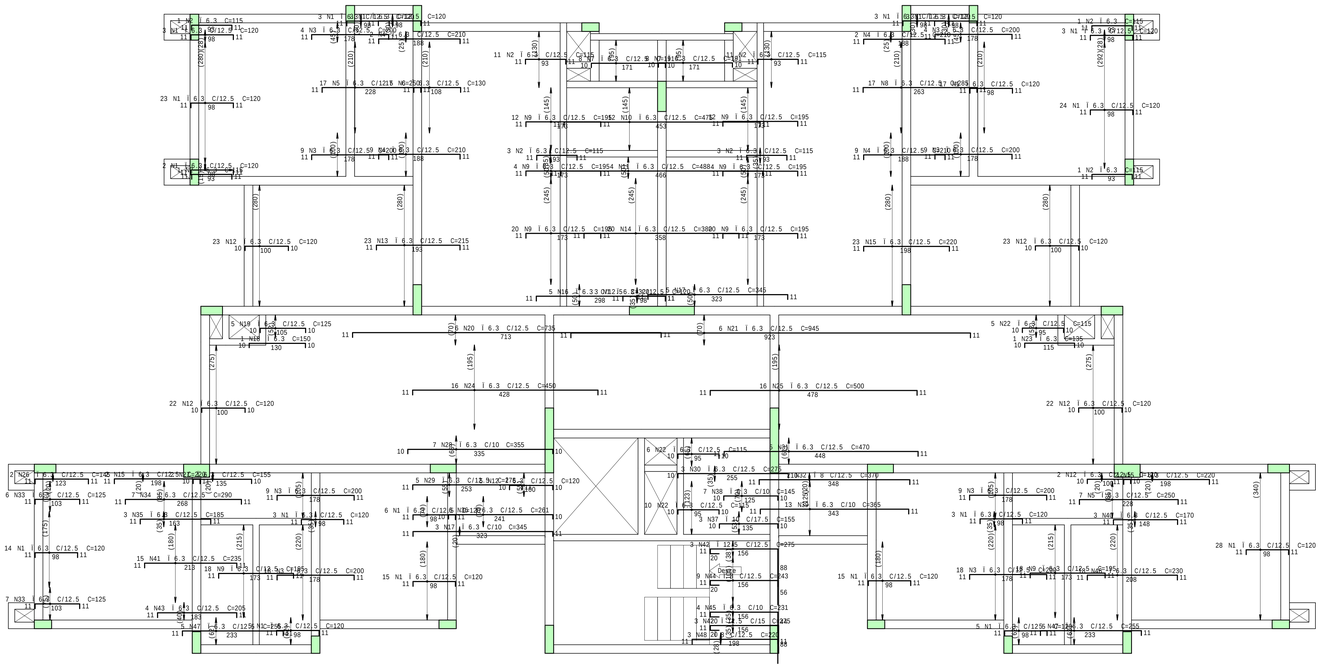
APÊNDICE D – PROJETO ESTRUTURAL (PAVIMENTO TIPO) MODELO 03



Versão Final Homologada
28/03/2025 16:26

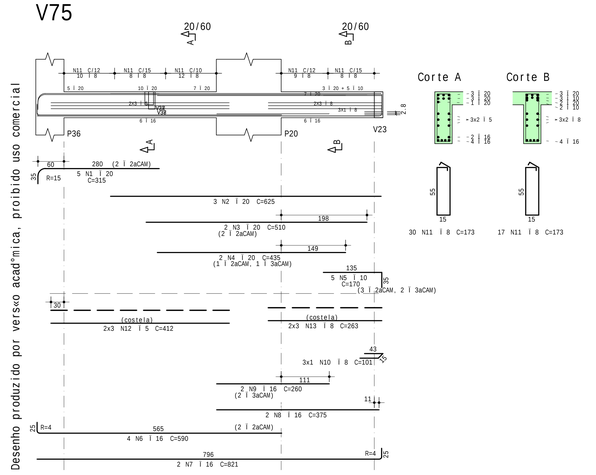
Pav tipo - Armadura negativa principal

8X





V75

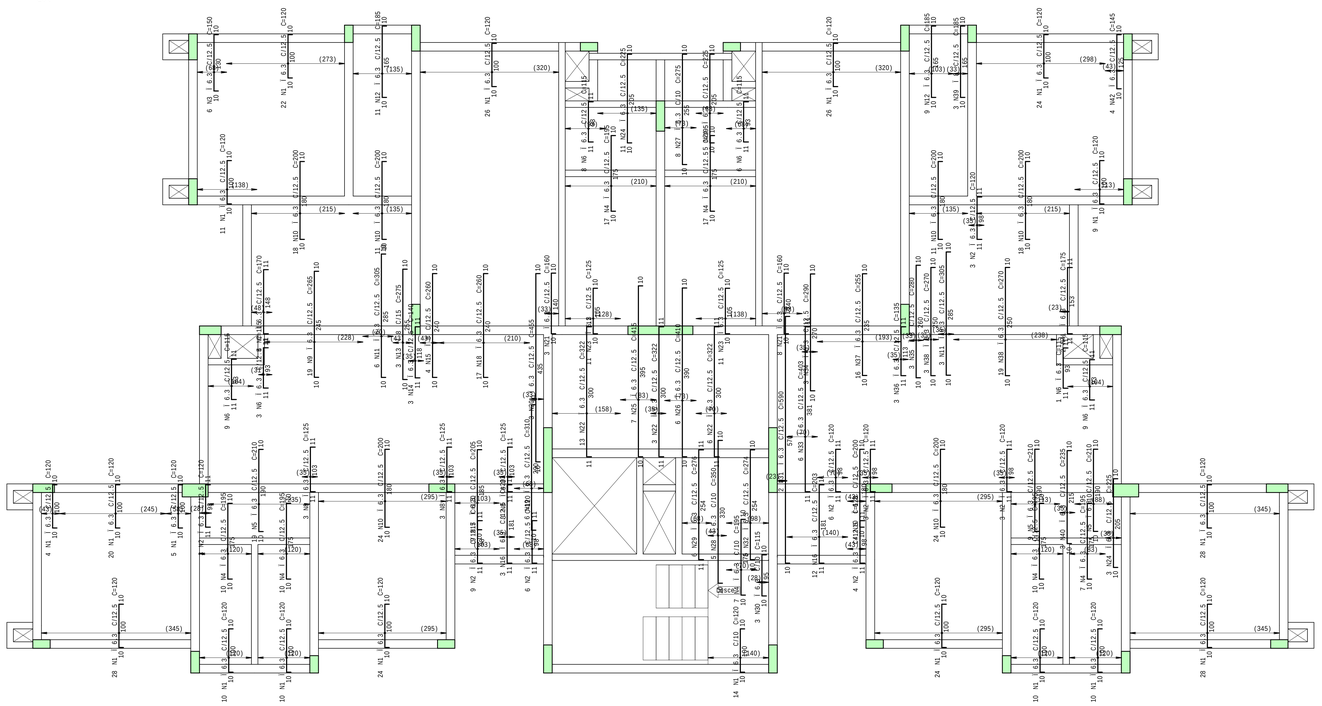


Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

72 N49 | 5 C/20 C=1140

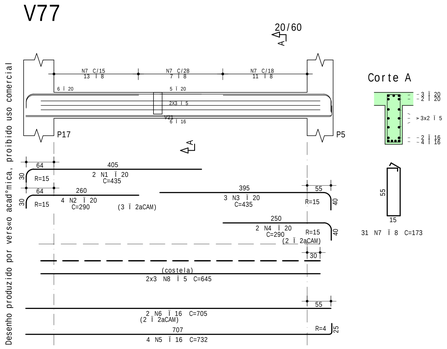
Pav tipo - Armadura negativa secundaria

8X





V77



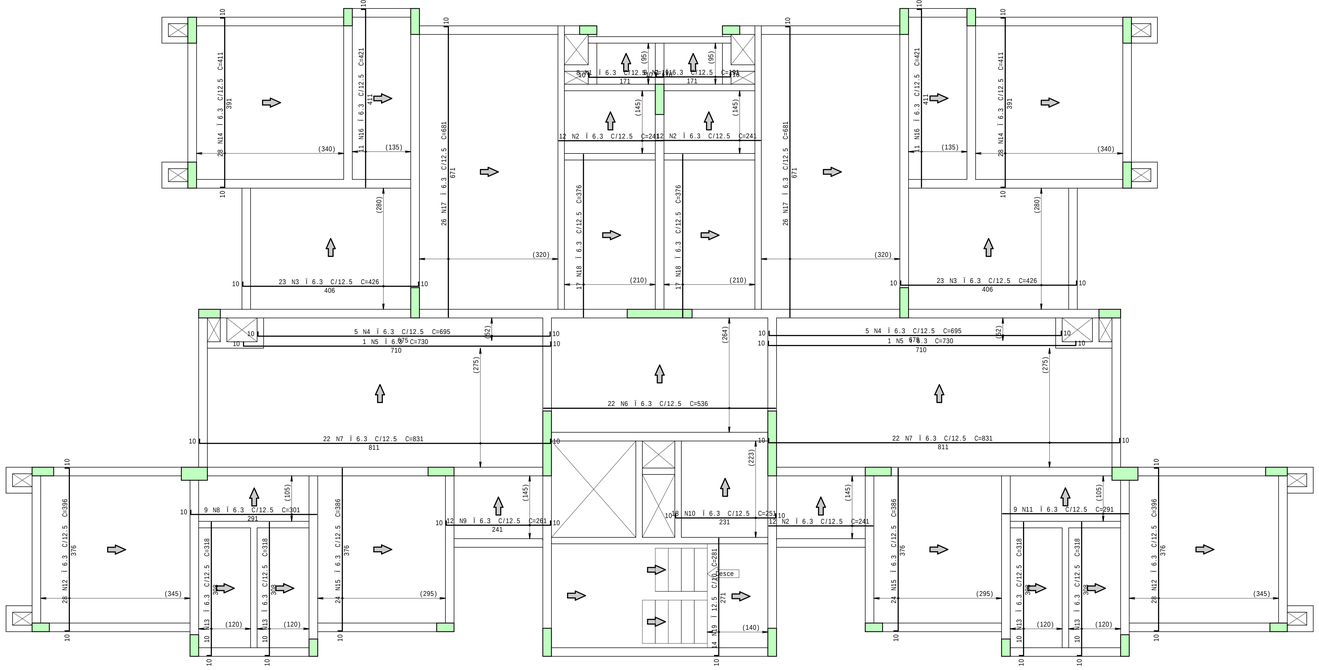
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

CONCRETO fck = 30 MPa ECS = 26838 MPa	OBRA N. º 0001
CLIENTE *UNILA*	DES. N. º 001
OBRA *TCC - PERU c/ sismo 2*	
TITULO *PROJETO ESTRUTURAL* *MODELO 03*	REV. N. º 00
Pav tipo - Armadura negativa principal Pav tipo - Armadura negativa secundaria V75 / V77	
DATA 08/03/2025	ESCALA 1:50
DESENHO TCC-PAV-V1G-001-R00	CODIFO.
	ENG. º

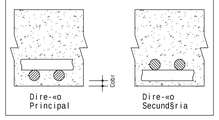
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATINA PL TCC-PAV-V1G-001-R00 PLT 08/03/2025 18:05:58
Versão Final Homologada
08/03/2025 14:20

Pav tipo - Armadura positiva secundaria

8X

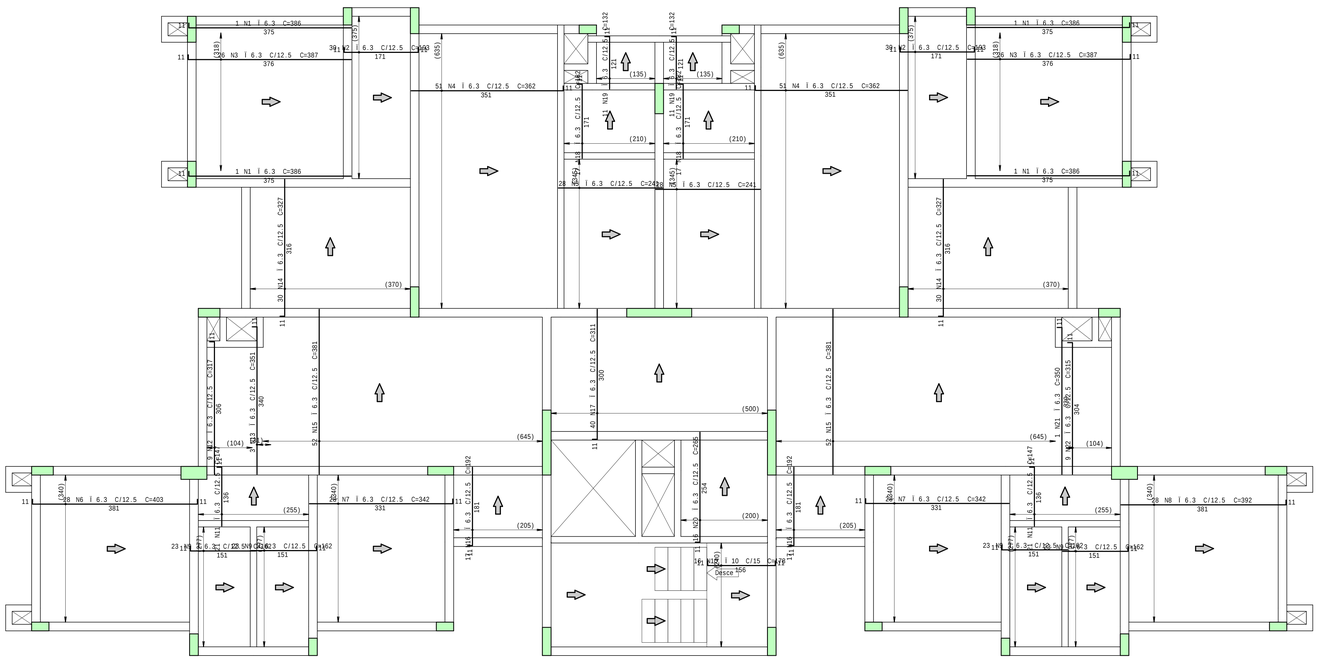


Detalhe gen®rico do alojamento de armaduras positivas

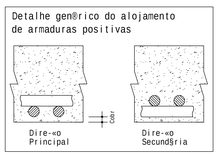


Pav tipo - Armadura positiva principal

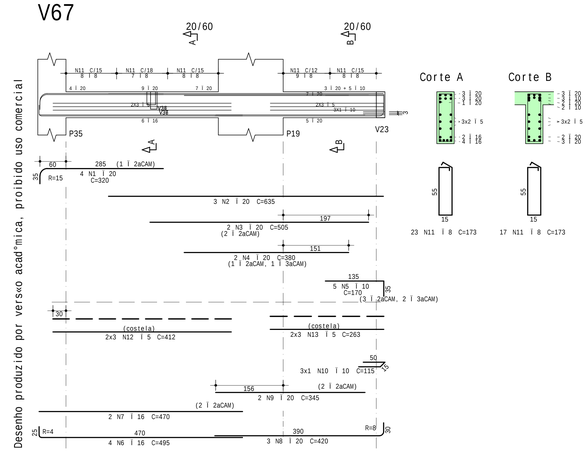
8X



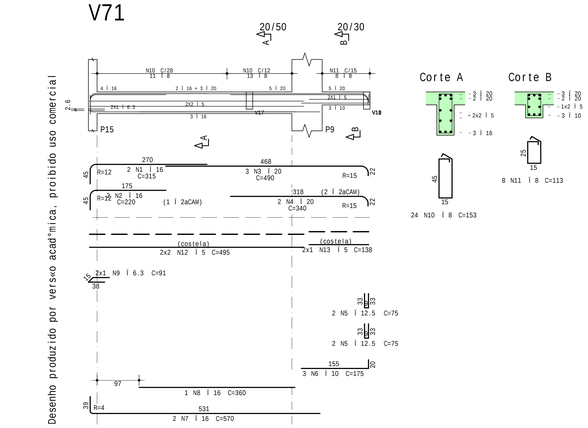
Detalhe gen®rico do alojamento de armaduras positivas



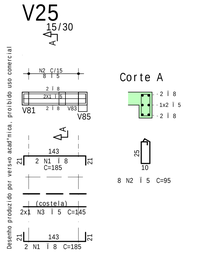
V67



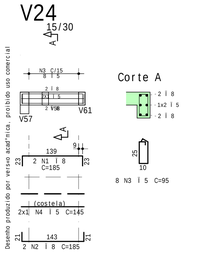
V71



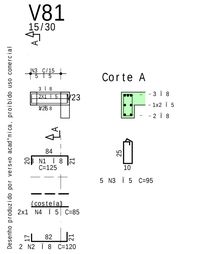
V25



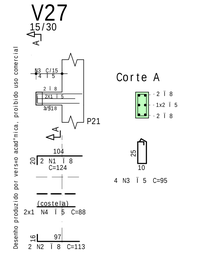
V24



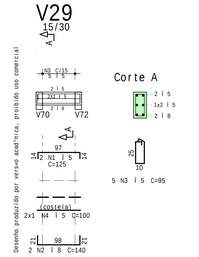
V81



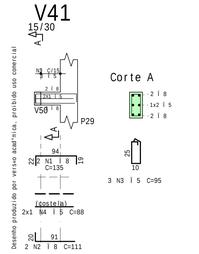
V27



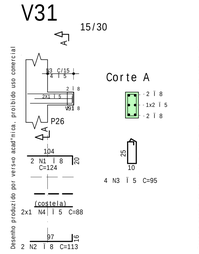
V29



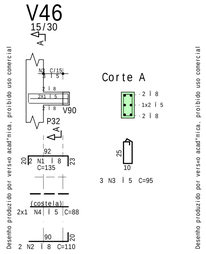
V41



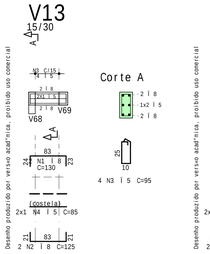
V31



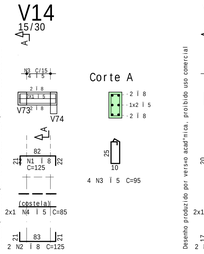
V46



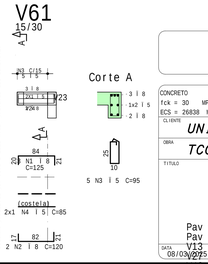
V13



V14



V61

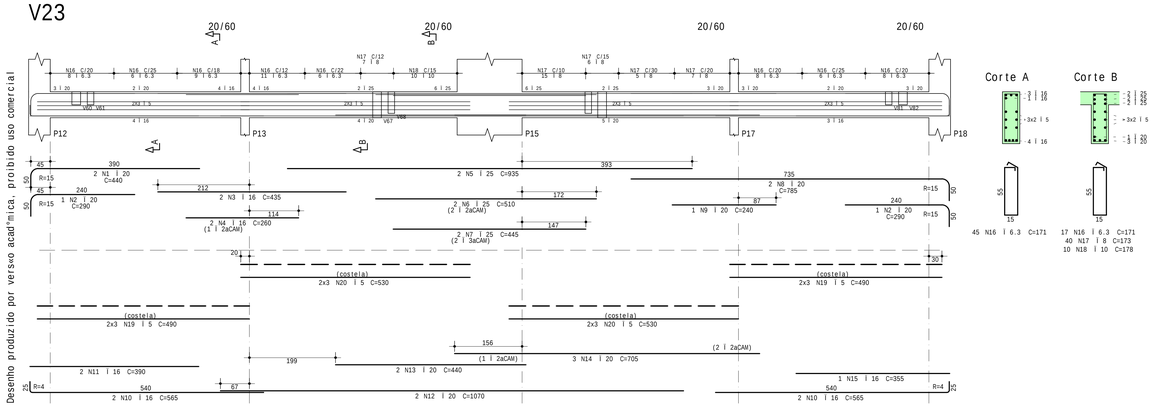


Desenho produzido por versxo acad^mica, proibido uso comercial

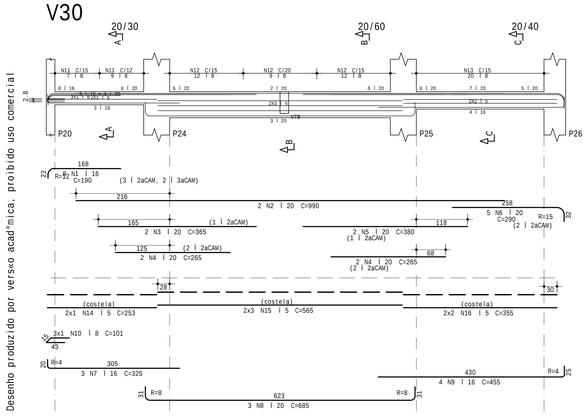
CONCRETO	
fck = 30 MPa	
ECS = 26838 MPa	
CLIENTE	UNILA
OBRA	TCC – PERU c/ sismo 2
TITULO	Pav tipo - Armadura positiva principal Pav tipo - Armadura positiva secundaria V13 / V14 / V24 / V25 V27 / V29 / V31 / V41 V46 / V61 / V67 / V71 V81
DATA	08/03/2025
COORD.	
ARQUIVO	V:\...\PRANCHAS-V1G-002-R00
ENG. º	
OBRA Nº	0001
DES. Nº	002
REV. Nº	00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL TCC-PAV-V1G-002-R00.PLT 08/03/2025 18:06:00
Versão Final Homologada
08/03/2025 18:28

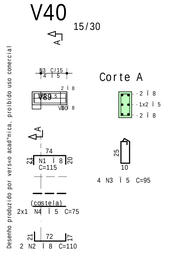
V23



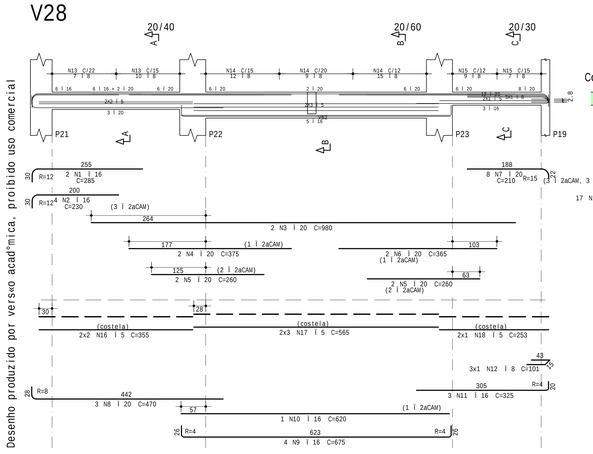
V30



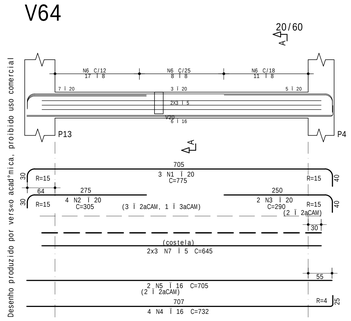
V40



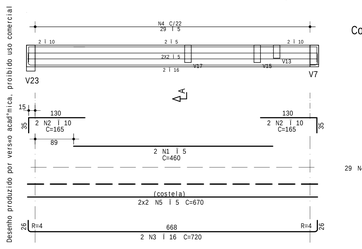
V28



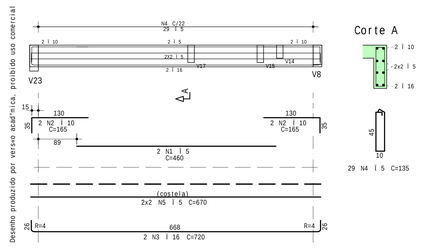
V64



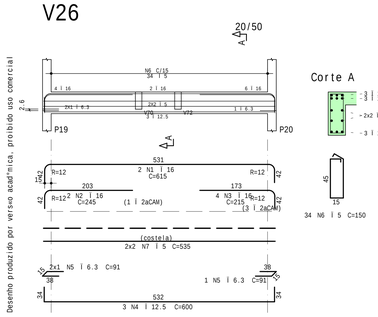
V68



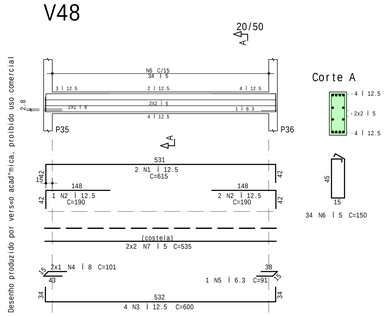
V74



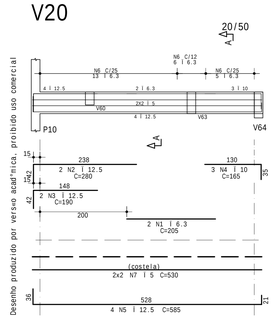
V26



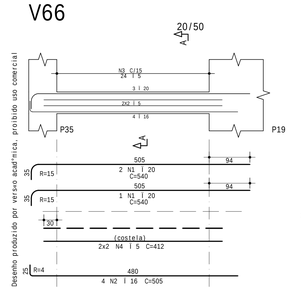
V48



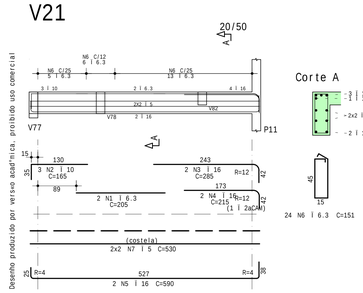
V20



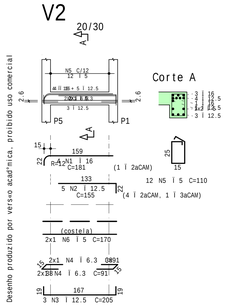
V66



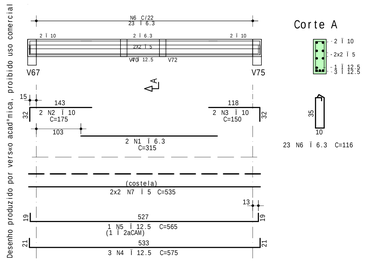
V21



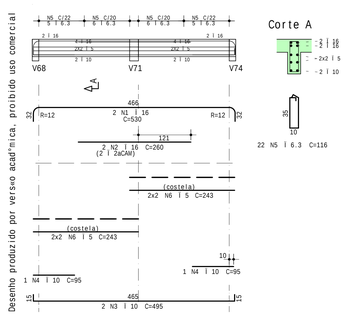
V2



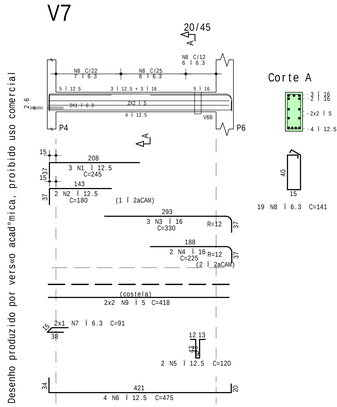
V37



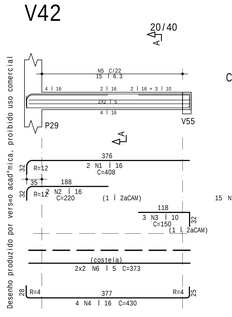
V17



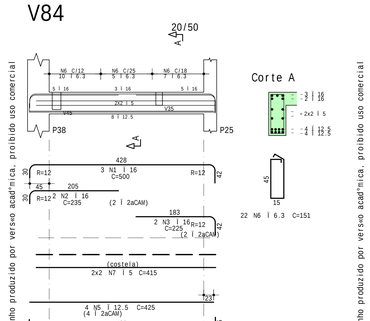
V7



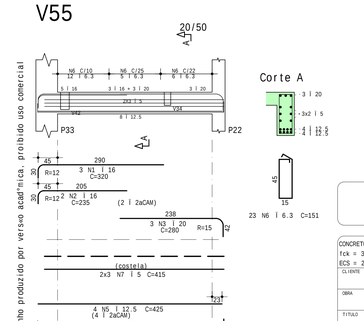
V42



V84



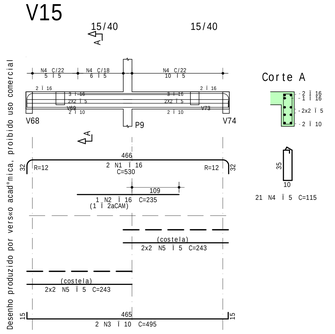
V55



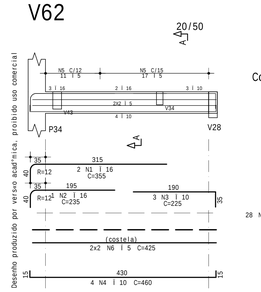
CONCRETO	OBRA N. º 0001
fck = 30 MPa	
ECS = 26838 MPa	DES. N. º 003
CLIENTE UNILA	
OBRA TCC - PERU c/ sismo 2	
TÍTULO V2 / V7 / V17 / V20 / V21 V23 / V26 / V28 / V30 V37 / V40 / V42 / V48 V55 / V64 / V66 / V68 V74 / V84	REV. N. º 00
DATA 08/03/2025 ESCALA 1:50	CODIG. TCC-PAV-V1G-003-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA, TCC-PAV-V1G-003-R00.PLT 08/03/2025 16:06:02
Versão Final Homologada
08/03/2025 16:20

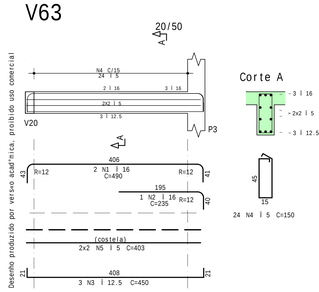
V15



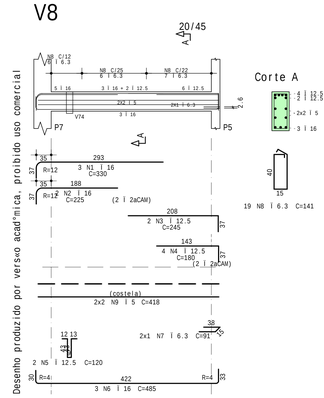
V62



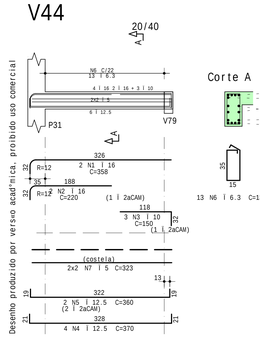
V63



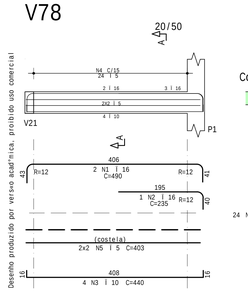
V8



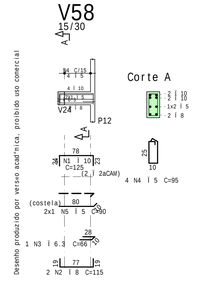
V44



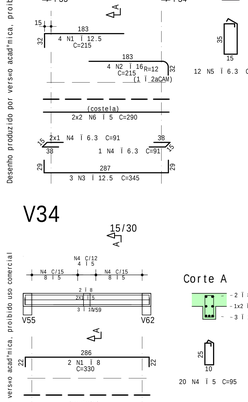
V78



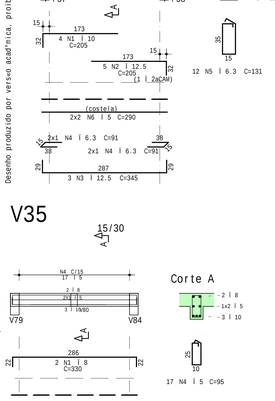
V58



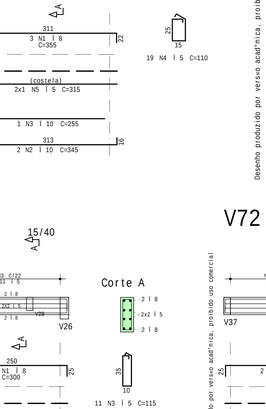
V4



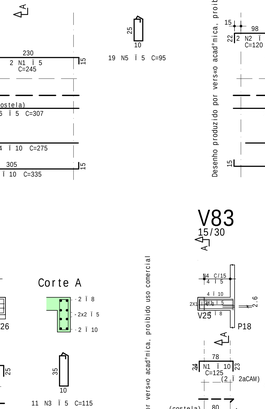
V79



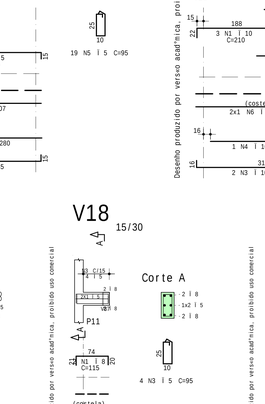
V45



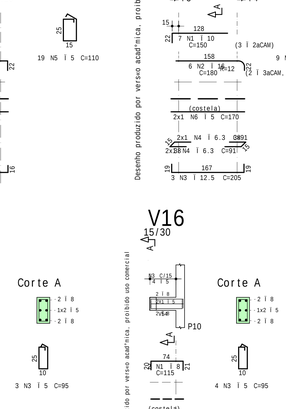
V86



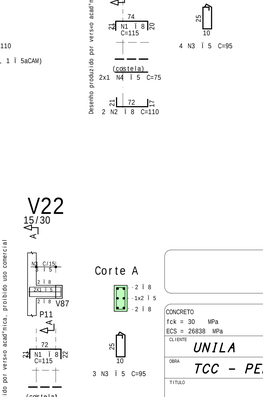
V89



V65



V38



V85

V5

V57

V56

V76

V52

V43

V47

V49

V82

V59

V80

V60

V1

V6

V34

V35

V70

V72

V83

V18

V12

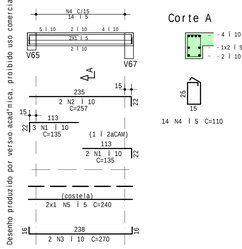
V16

V22

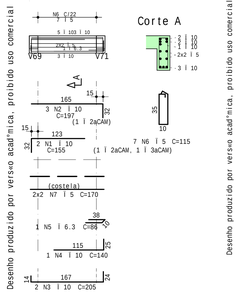
CONCRETO	OBRA Nº 0001
fck = 30 MPa	
ECS = 26838 MPa	DES. Nº 004
CLIENTE: UNILA	
OBRA: TCC – PERU c/ sismo 2	
TÍTULO: V1 / V4 / V5 / V6 / V8 V12 / V15 / V16 / V18 V22 / V34 / V35 / V38 V43 / V44 / V45 / V47 V52 / V56 / V57 / V58 V59 / V60 / V62 V63 / V65 / V70 / V72	REV. Nº 00
DATA: 08/03/2023	COORD.
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-004-R00	ENG.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINA PL TCC-PAV-VIG-004-R00.PLT 08/03/2023 18:56:05
Versão Final Homologada
08/03/2023 18:20

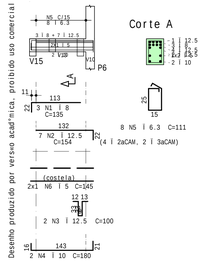
V36
20/30



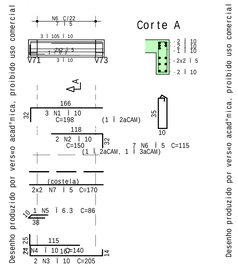
V10
15/40



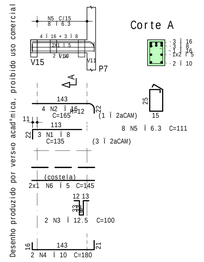
V69
20/30



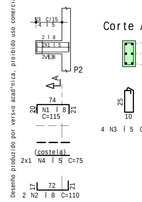
V11
15/40



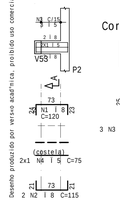
V73
20/30



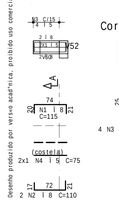
V3
15/30



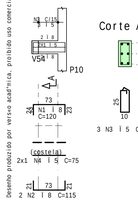
V9
15/30



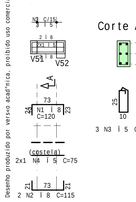
V39
15/30



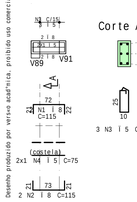
V19
15/30



V32
15/30



V33
15/30



V88
15/30

V51
15/30

V90
15/30

V91
15/30

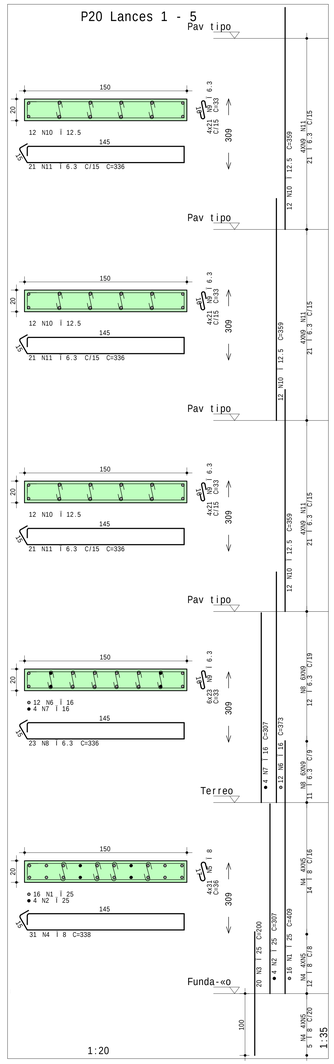
V50
15/30

V53
15/30

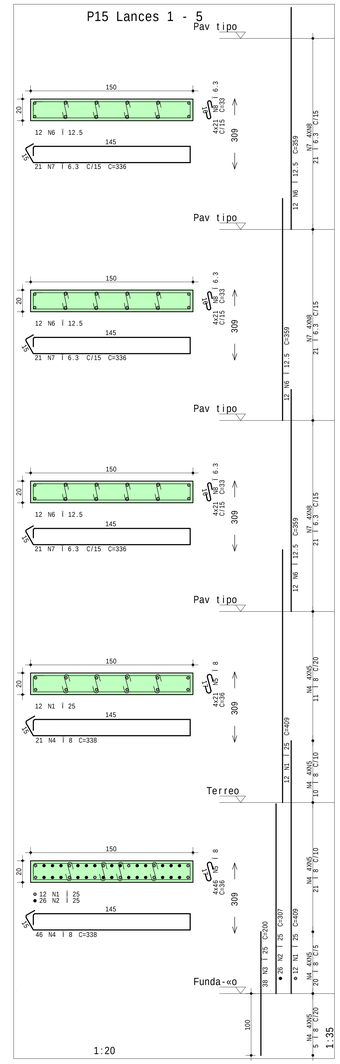
V54
15/30

V87
15/30

P20 Lances 1 - 5



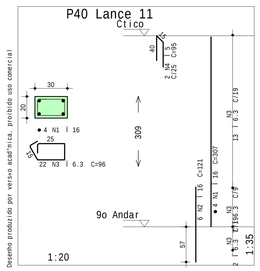
P15 Lances 1 - 5



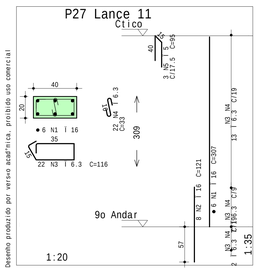
Desenho produzido por versão acadêmica, proibido uso comercial

Desenho produzido por versão acadêmica, proibido uso comercial

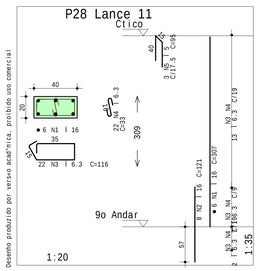
P40 Lance 11



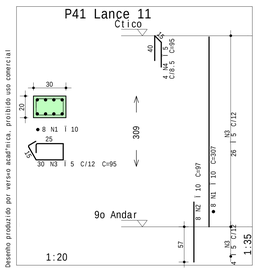
P27 Lance 11



P28 Lance 11



P41 Lance 11

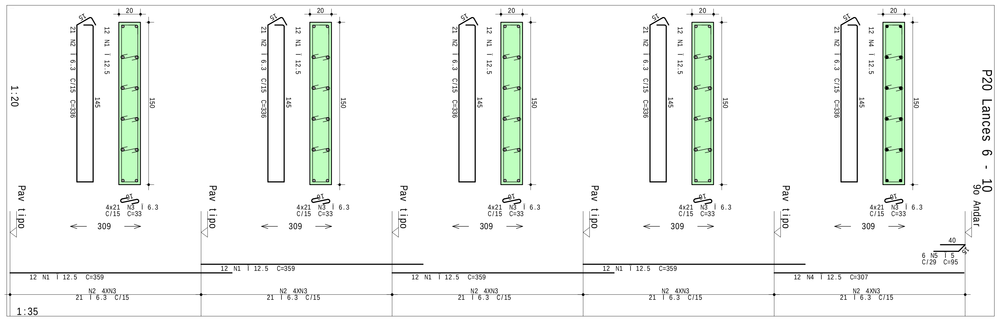


CONCRETO	OBRA N. º 0001
fck = 30 MPa	
ECS = Ver na planta	DES. N. º 005
CLIENTE: UNILA	
OBRA: TCC - PERU c/ sismo 2	REV. N. º 00
TÍTULO: P15 Lances 1 - 5 P20 Lances 1 - 5 P27 Lance 11 P28 Lance 11 P40 Lance 11 P41 Lance 11 / V3 / V9 V10 / V11 / V19 / V32	
DATA: 08/03/2025	DESENHO: TCC-PAV-V1G-005-R00
ESCALA: indicada	COORD.
	ENG. º

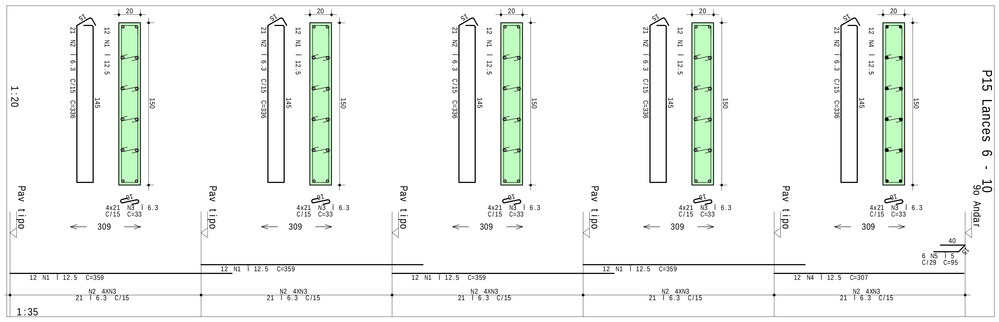
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO AMERICANA, TCC-PAV-V1G-005-R00.PLT 08/03/2025 16:06:09
Versão Final Homologada
08/03/2025 16:20

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-006-R00.PLT 08/03/2025 18:06:11

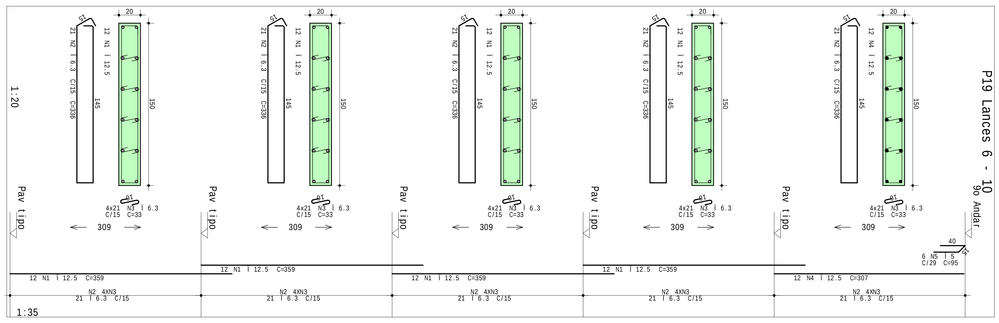
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



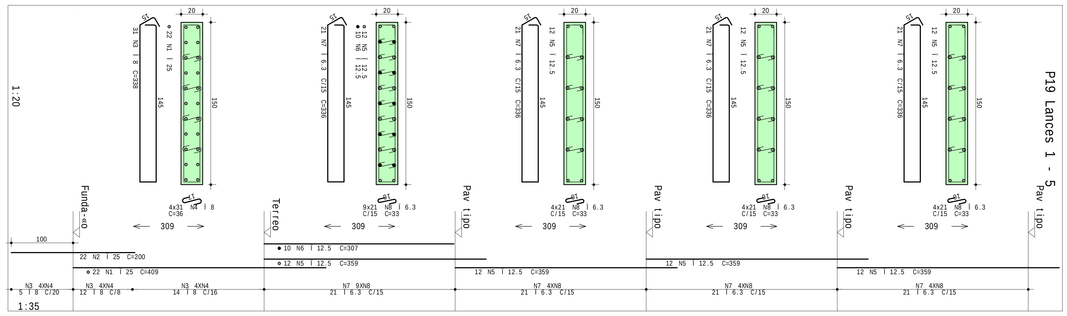
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



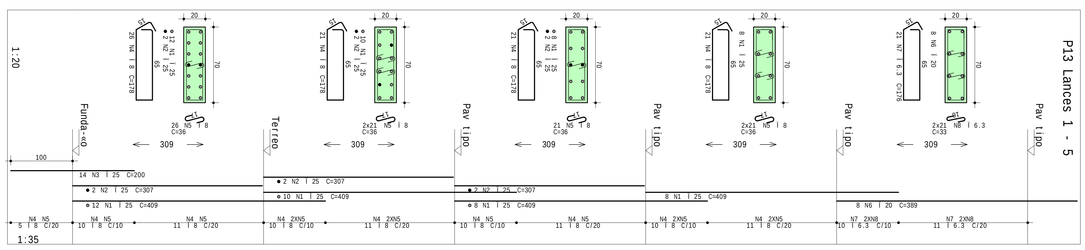
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



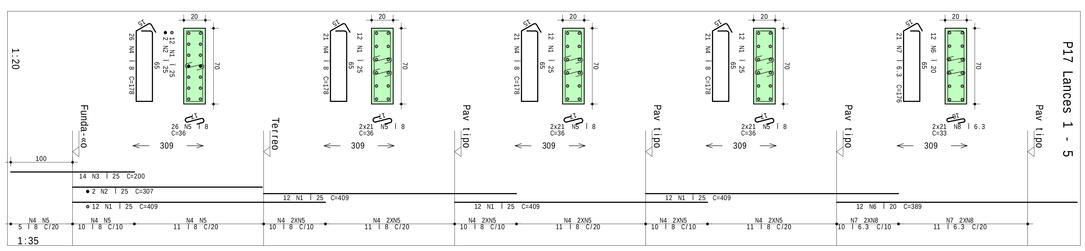
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



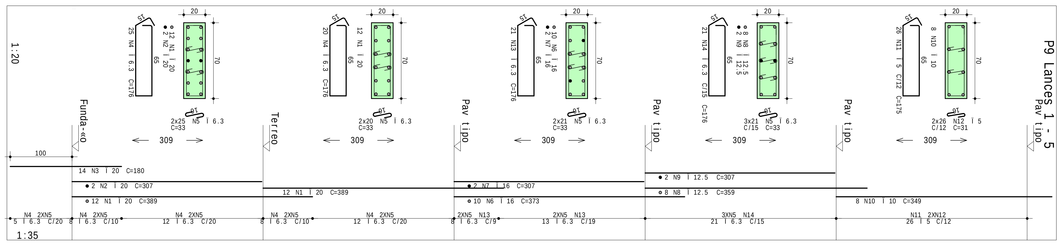
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



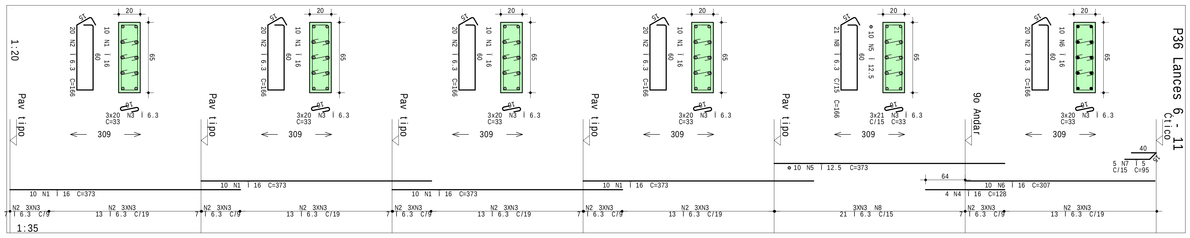
ESCALA(S)
1:20 E 1:35
ESCS = Vari·veis
UNIDADES
m
CLIENTE
UNILA
OBRA
TCC - PERU c/ sismo 2
TITULO
P13 Lances 1 - 5
P15 Lances 6 - 10
P17 Lances 1 - 5
P19 Lances 6 - 10
P20 Lances 6 - 10
ARQUIVO
TCC-Pav-VIG-006-R00
DESENHO
0001
DES. N. º
006
REV. N. º
00
REV. Nº
PROJ. Nº

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-007-R00.PLT 08/03/2025 18:06:13

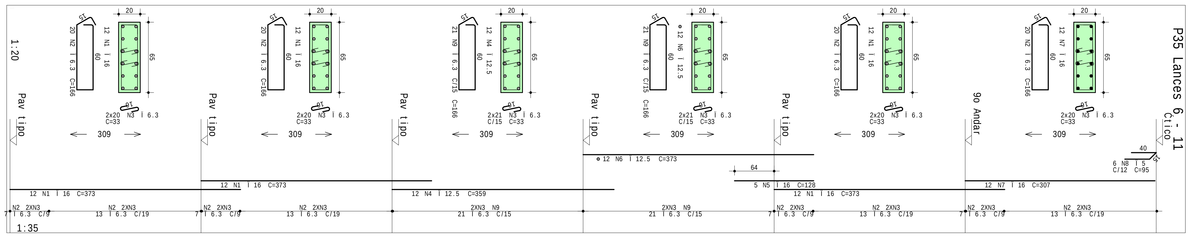
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



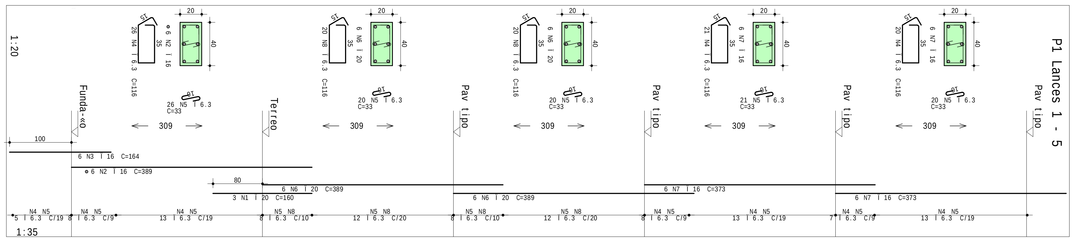
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



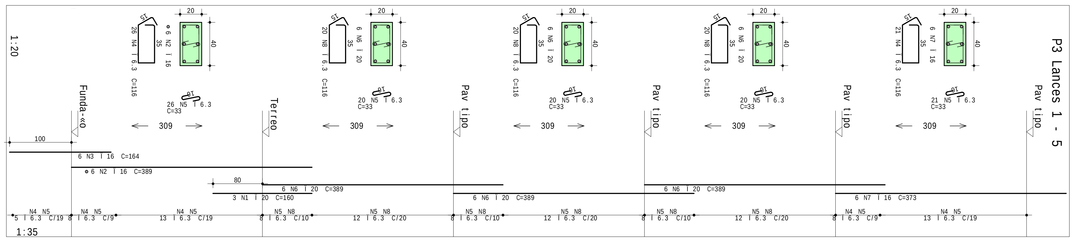
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



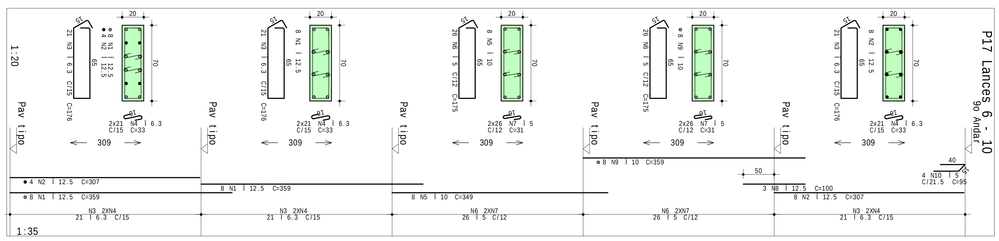
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



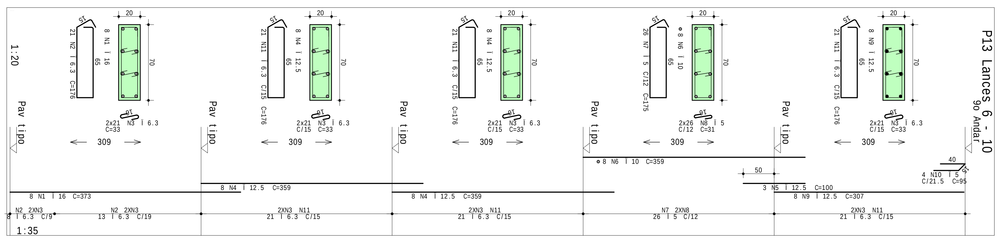
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



UNILA

TCC - PERU c/ sismo 2

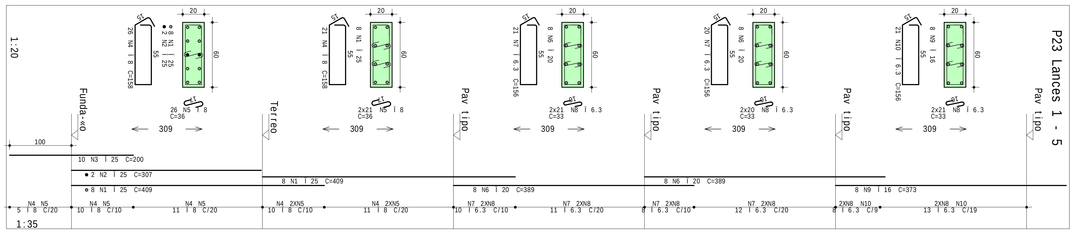
007

00

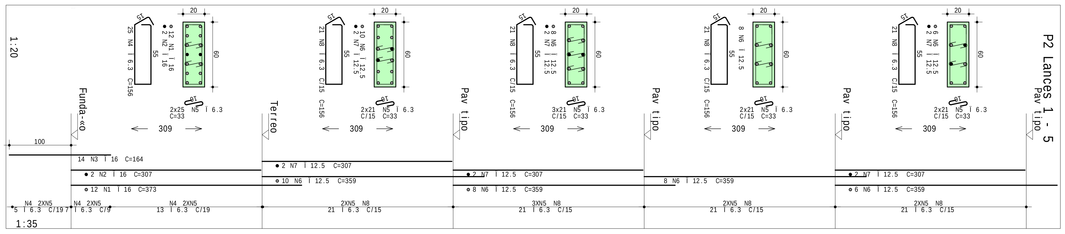
P1 Lances 1 - 5
P3 Lances 1 - 5
P9 Lances 1 - 5
P13 Lances 6 - 10
P17 Lances 6 - 10
P35 Lances 6 - 11
P36 Lances 6 - 11

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-008-R00.PLT 08/03/2025 18:06:15

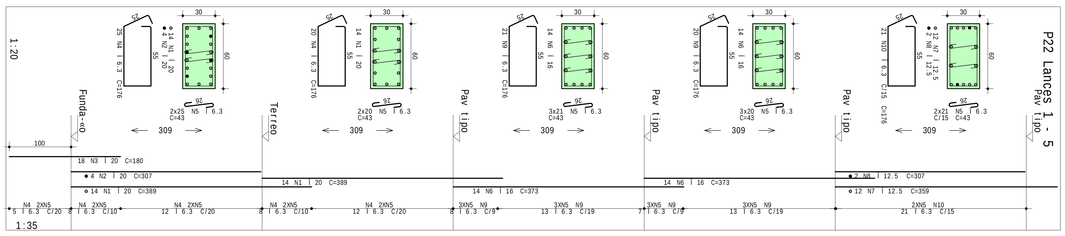
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



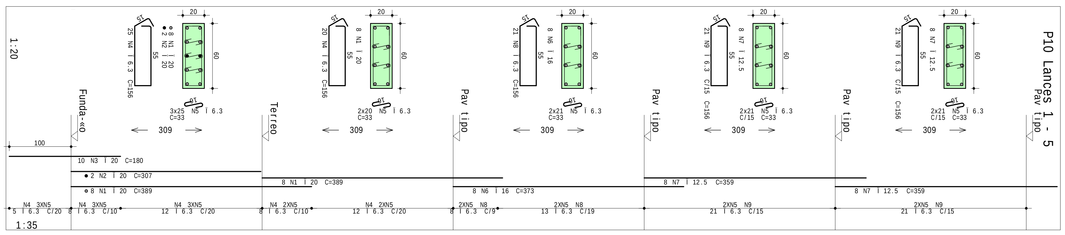
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



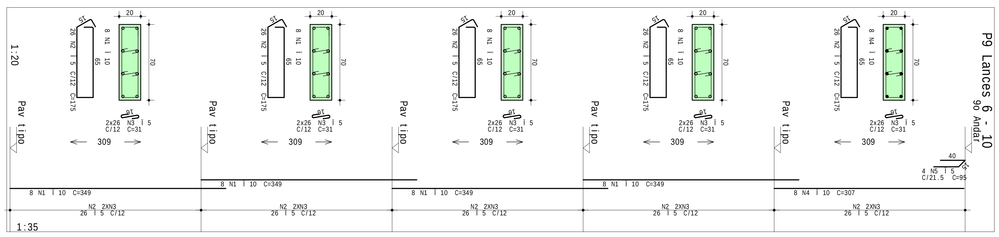
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



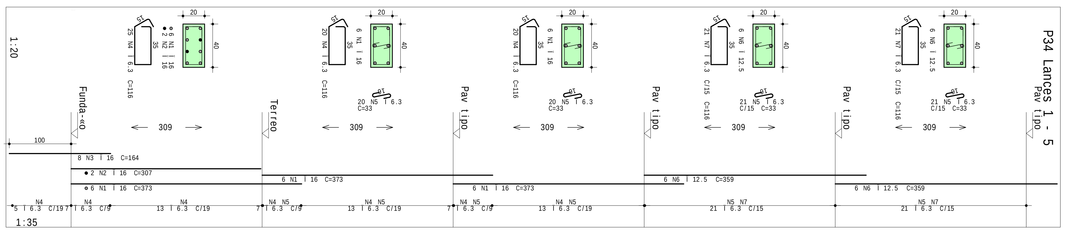
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



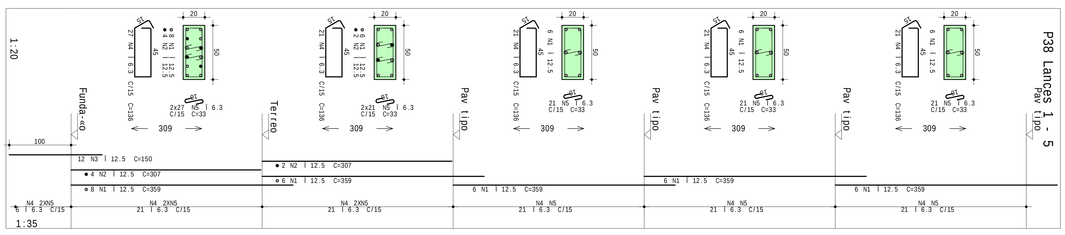
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



PROJETO
TCC - PERU - VIG - 008
ESCALA: 1:20, 1:35
DATA: MAR/2025

OBRA
UNILA

TÍTULO
TCC - PERU c/ sismo 2

DES. N.º 008

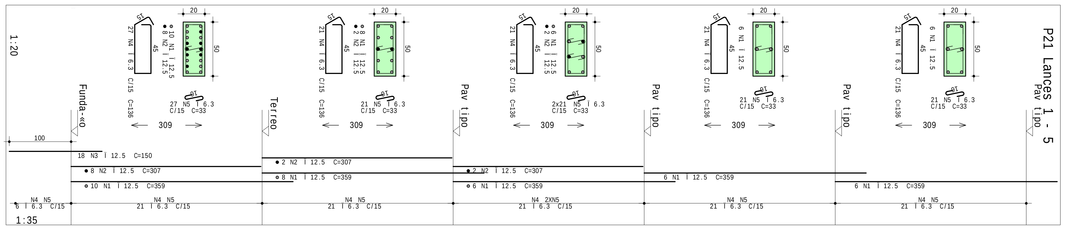
REV. N.º 00

FOLHA N.º 0001

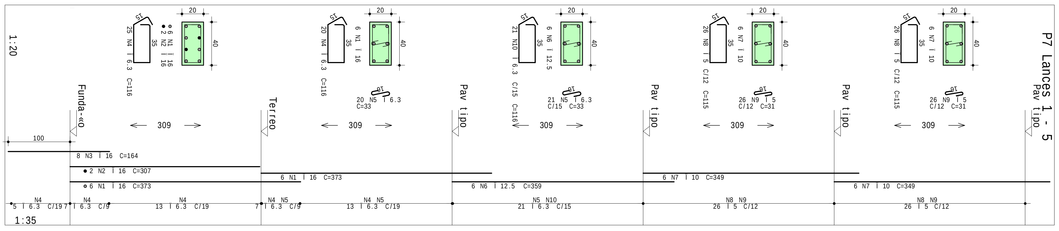
CONTEÚDO
P9 Lances 1 - 5
P9 Lances 6 - 10
P10 Lances 1 - 5
P22 Lances 1 - 5
P23 Lances 1 - 5
P34 Lances 1 - 5
P38 Lances 1 - 5

ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-008-R00

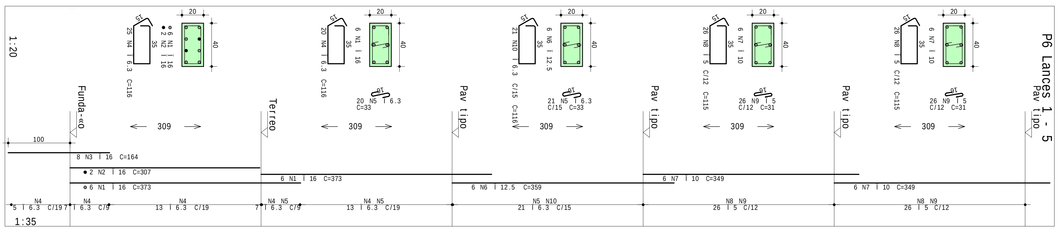
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



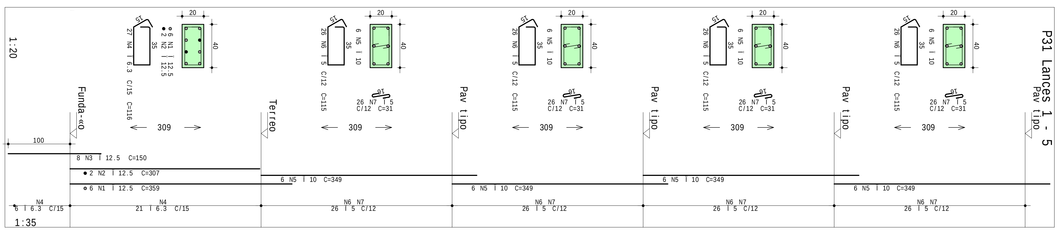
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



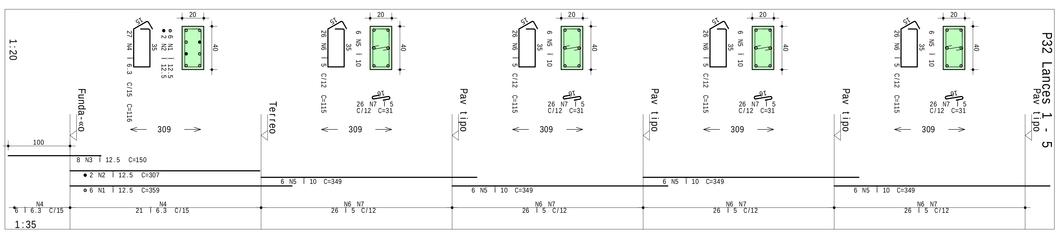
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



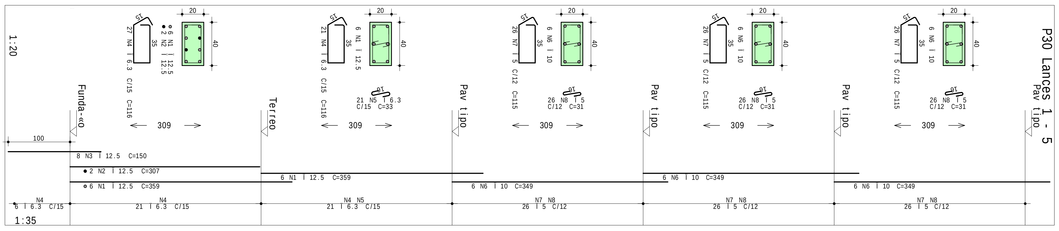
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



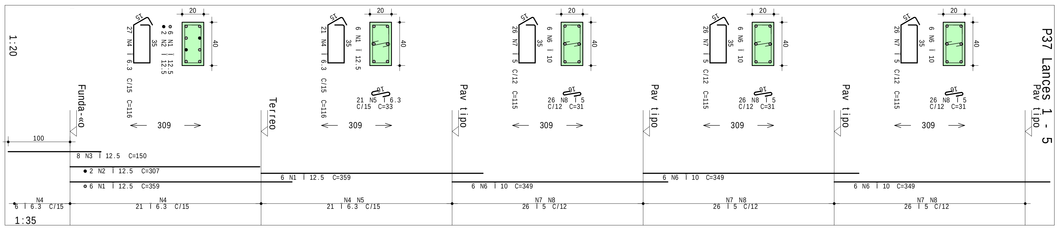
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



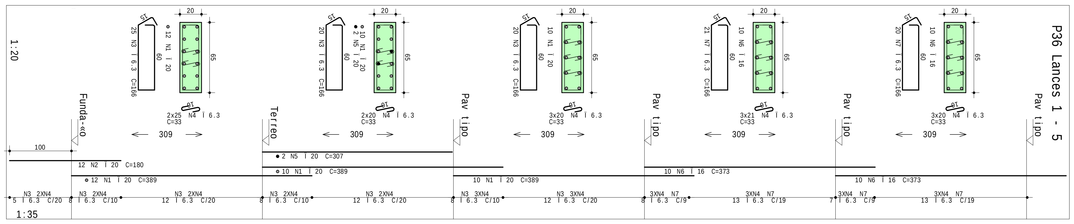
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



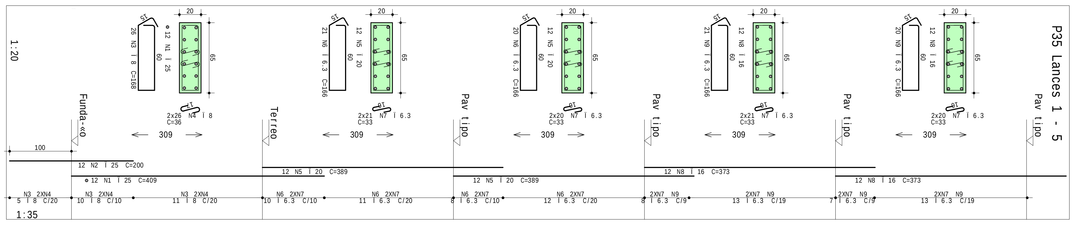
DISCIPLINA: ESTRUTURAS
ESCALA: 1:20 e 1:35
CLIENTE: UNILA
OBRA: TCC - PERU c/ sismo 2
TITULO: P6 Lances 1 - 5
P7 Lances 1 - 5
P21 Lances 1 - 5
P30 Lances 1 - 5
P31 Lances 1 - 5
P32 Lances 1 - 5
P37 Lances 1 - 5
DATA: 08/03/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-009-R00
CODIGO:
FOLHA Nº: 0001
DOC. Nº: 009
REV. Nº: 00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-010-R00.PLT 08/03/2025 18:06:18

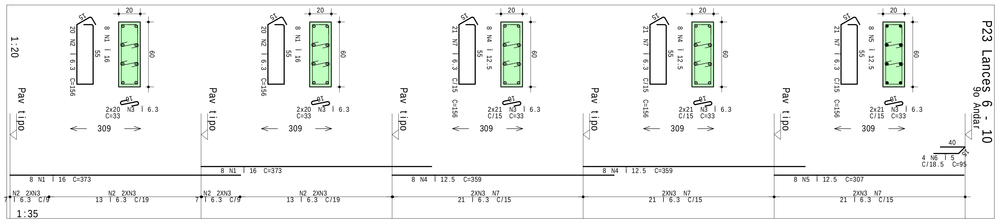
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



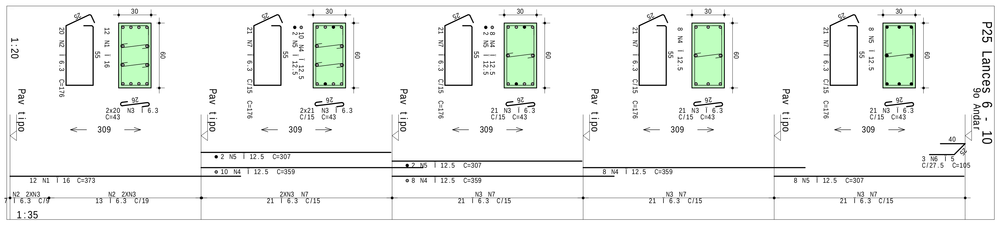
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



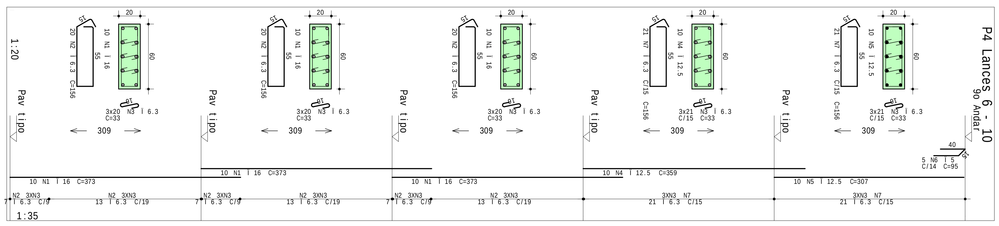
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



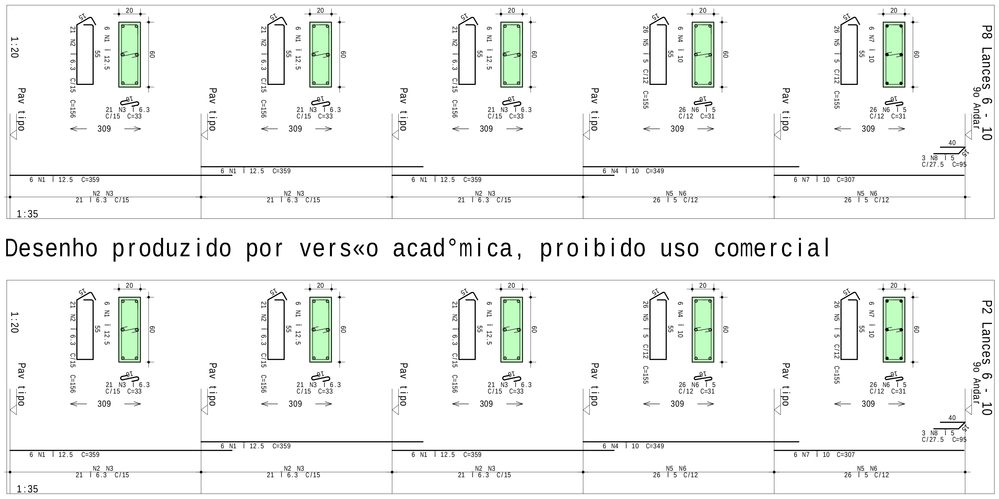
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



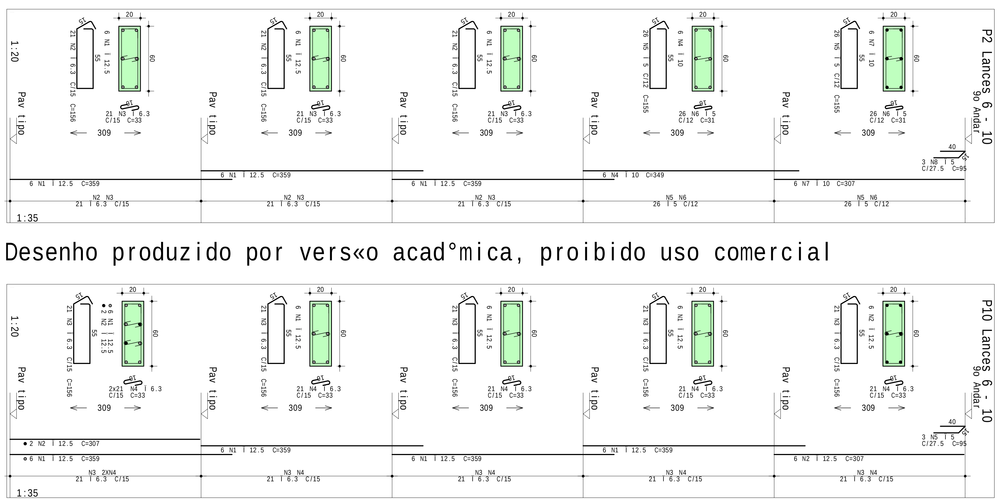
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



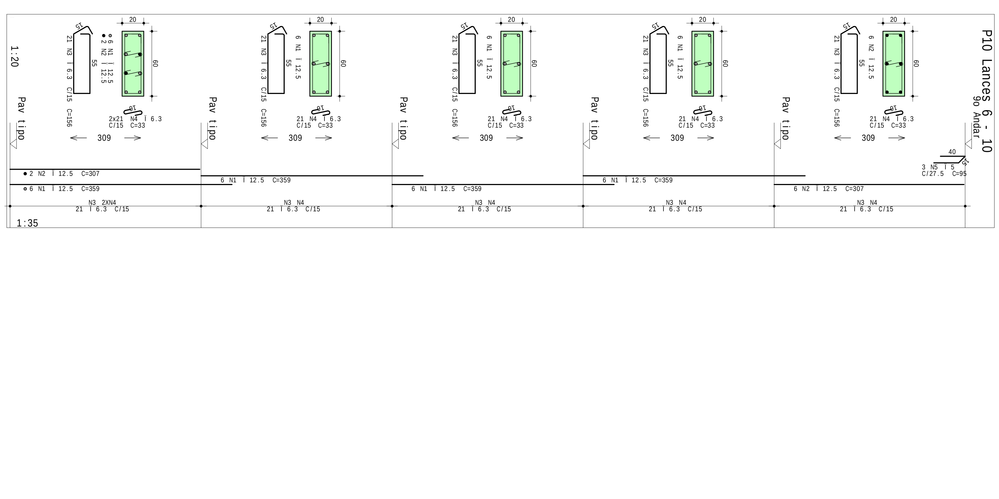
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

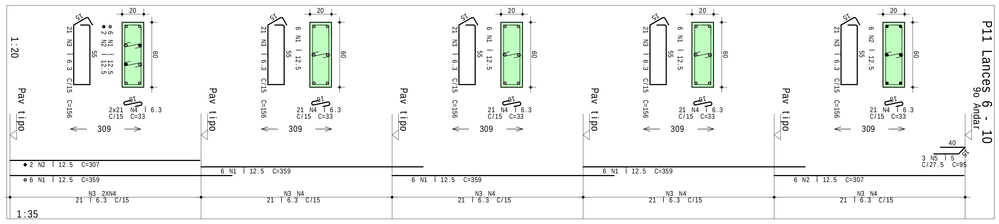


Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

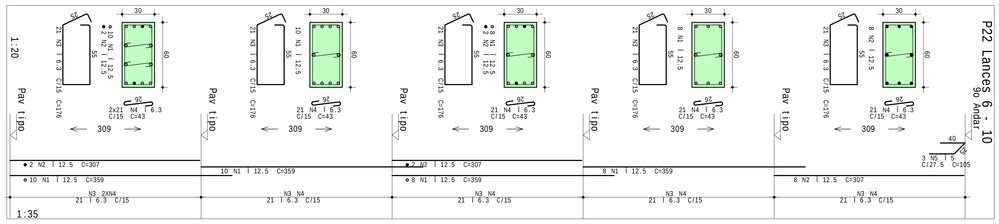


PROJECTION:
ESC's 1:XX / 1:XX PLANTA
1:20 1:35 1:50
UNIDADES:
cm
CLIENTE:
UNILA
OBRA:
TCC - PERU c/ sismo 2
TITULO:
P2 Lances 6 - 10
P4 Lances 6 - 10
P8 Lances 6 - 10
P10 Lances 6 - 10
P23 Lances 6 - 10
P25 Lances 6 - 10
P35 Lances 1 - 5
P36 Lances 1 - 5
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-010-R00
DATA: 08/03/2025
CONTEUDO:
010
REV. N.º
00
DES. N.º
0001
REV. N.º
CHK
0

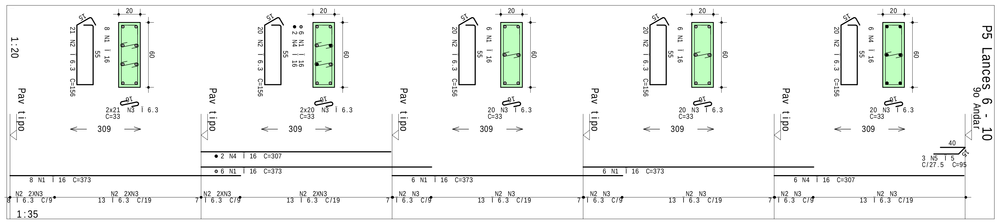
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



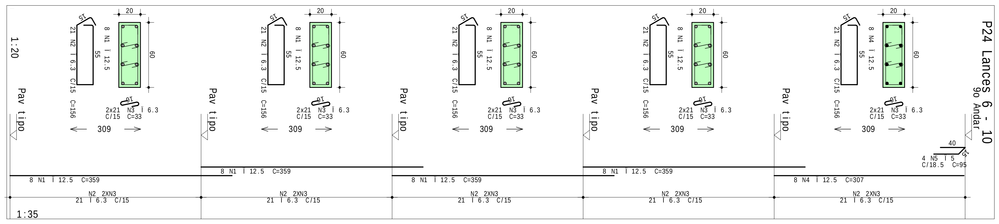
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



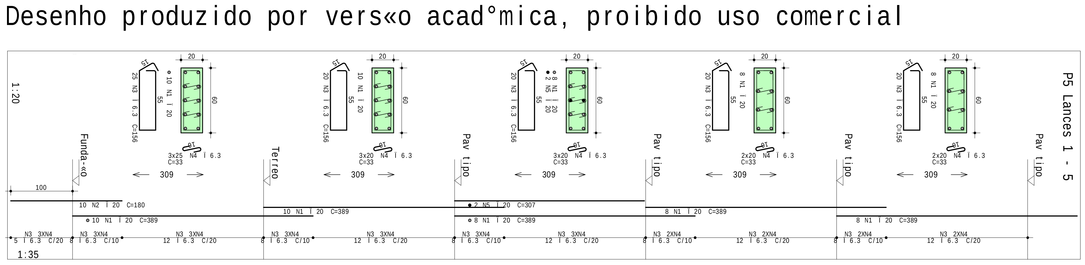
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



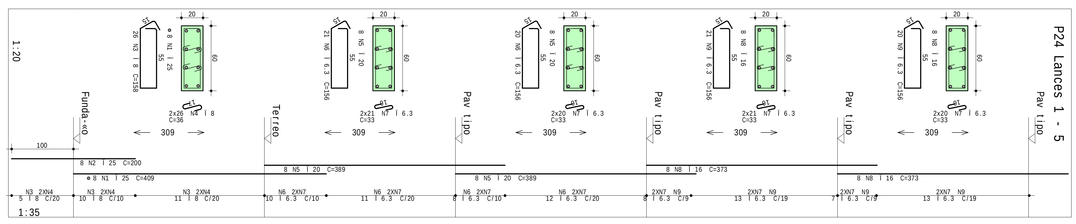
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



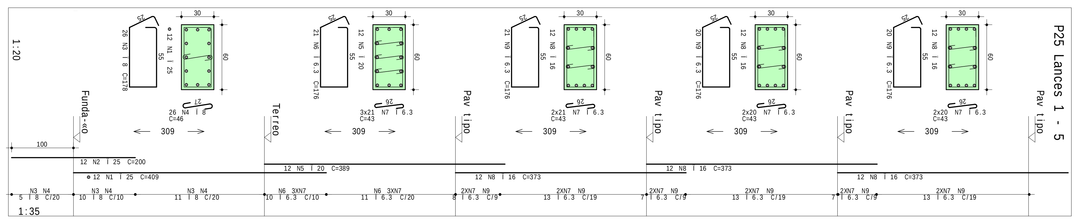
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



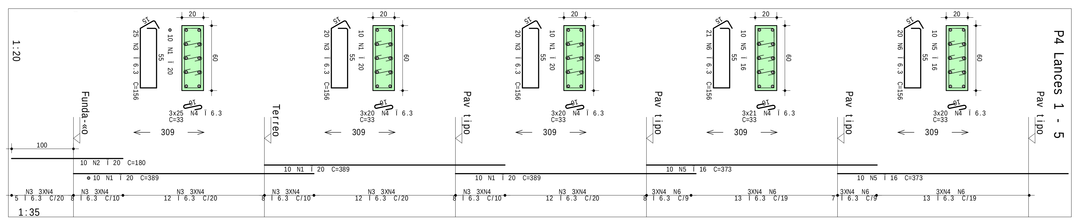
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



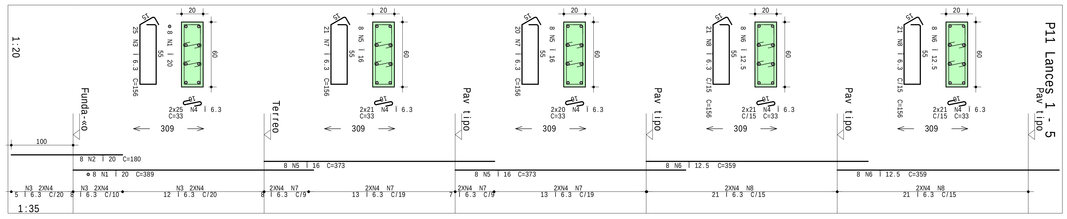
P4 Lances 1 - 5
P5 Lances 1 - 5
P5 Lances 6 - 10
P24 Lances 1 - 5
P24 Lances 6 - 10

PROJETISTA:
ESCALA: 1:20 1:35
DESENHO:
CLIENTE:
OBRA:
TCC - PERU c/ sismo 2
UNILA
TITULO:

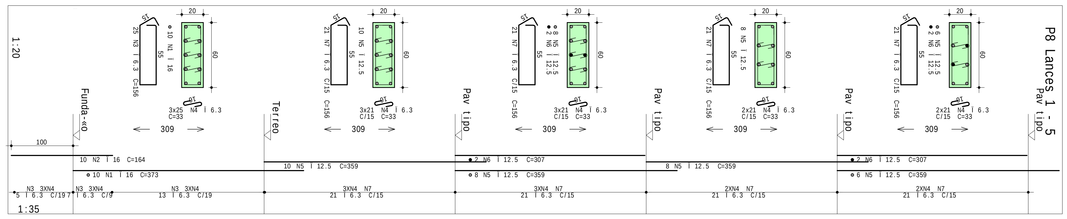
REV. N. 0001
DES. N. 011
REV. N. 00
DWG. N.
CONFERIDO:
DATA: 08/03/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-VIG-011-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-012-R00.PLT 08/03/2025 18:06:22

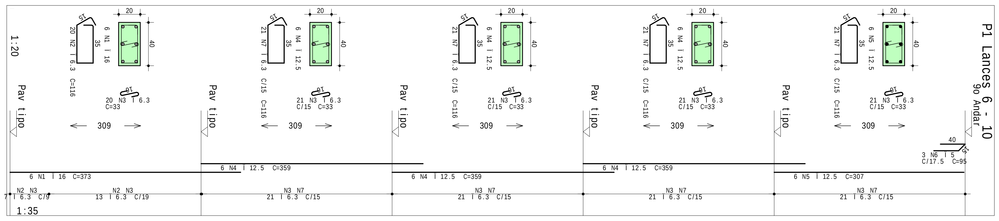
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



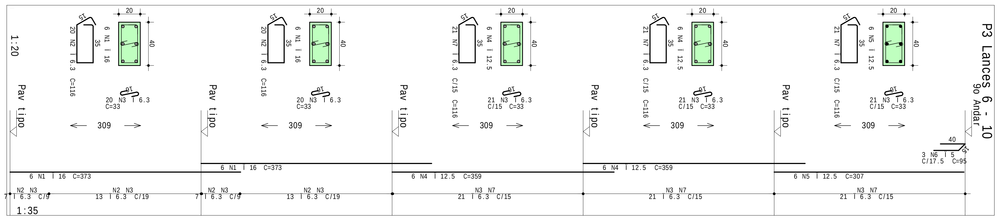
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



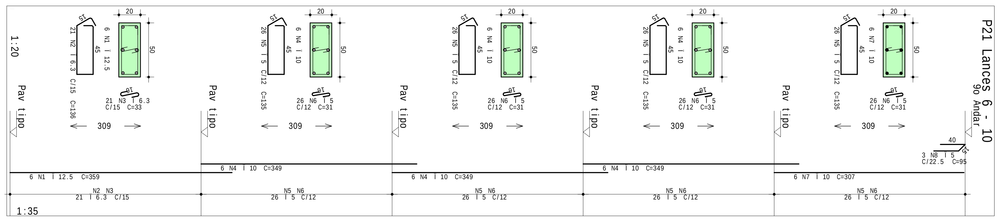
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



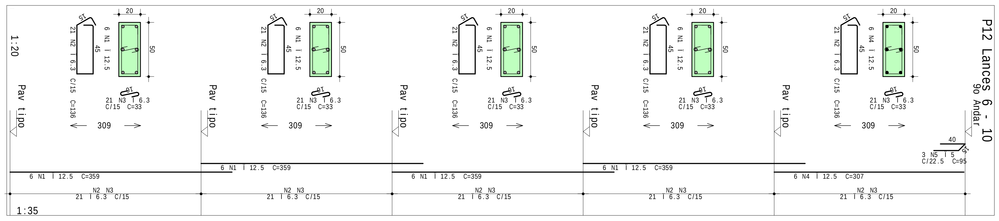
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



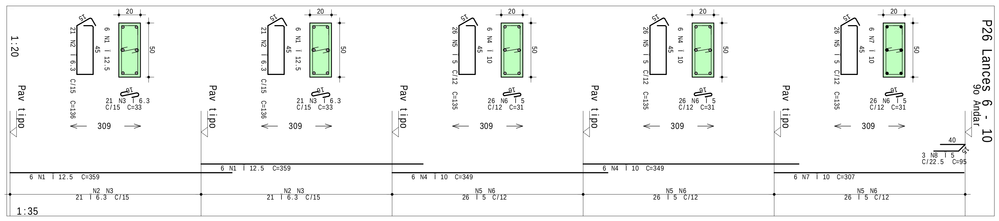
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



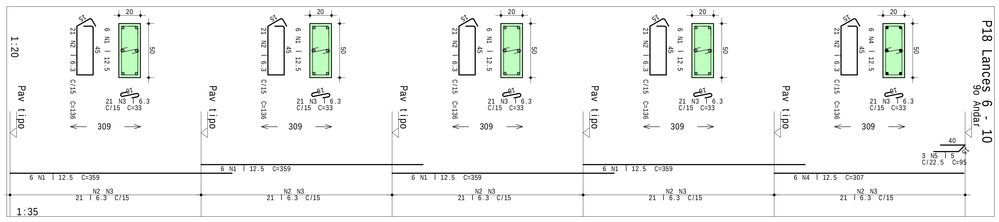
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial

ALTO ADRIATICO
mediterraneo energy

Concreto:
f'ck = 30 MPa
ECS = 5600 √fck MPa
CLASSE

OBRA
TCC - PERU c/ sismo 2
TITULO

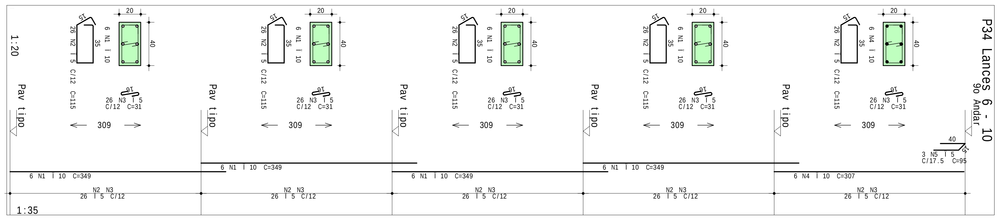
P1 Lances 6 - 10
P3 Lances 6 - 10
P8 Lances 1 - 5
P12 Lances 6 - 10
P18 Lances 6 - 10
P21 Lances 6 - 10
P26 Lances 6 - 10

FOLHA Nº 0001
DES. Nº 012
REV. Nº 00

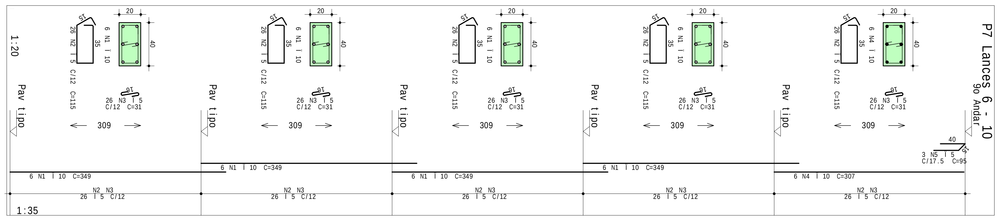
(00)00000-0000 | TCC-Peru-VIG-012-R00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-V1G-013-R00.PLT 08/03/2025 18:06:24

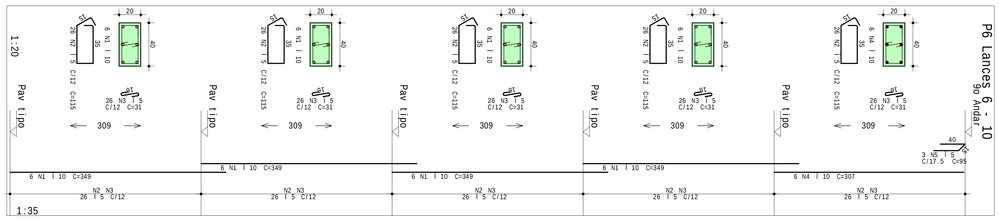
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



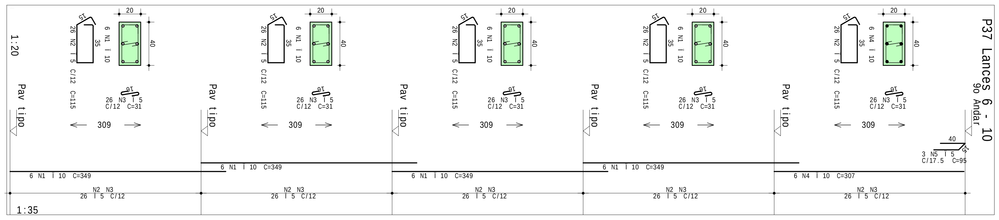
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



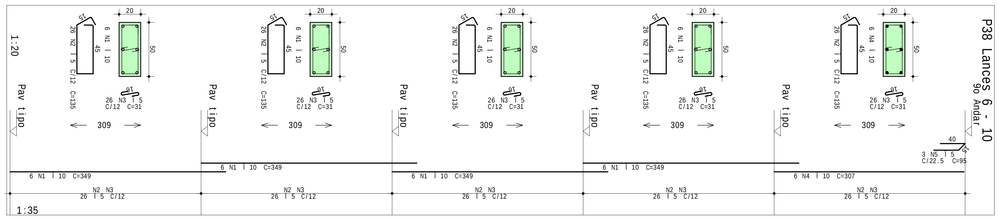
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



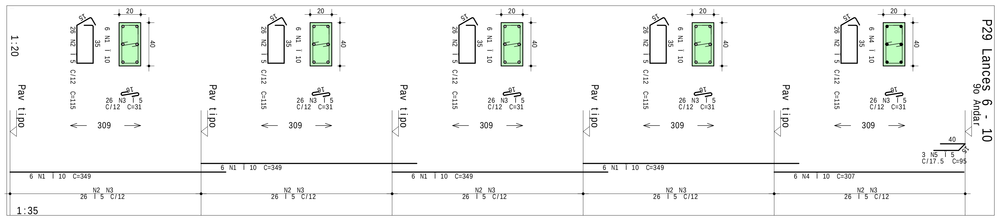
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



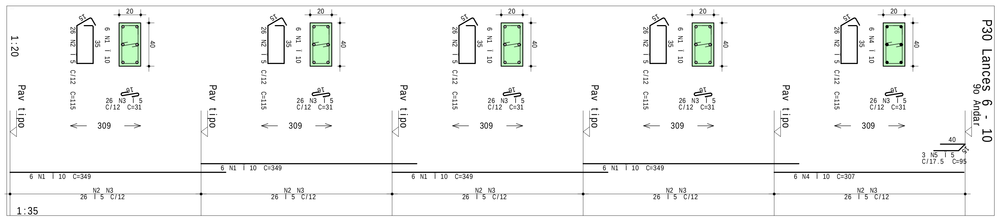
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



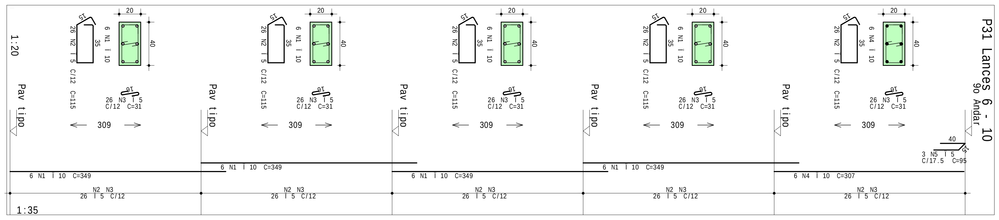
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



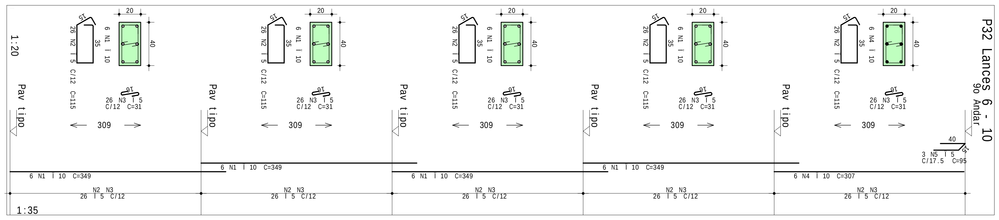
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



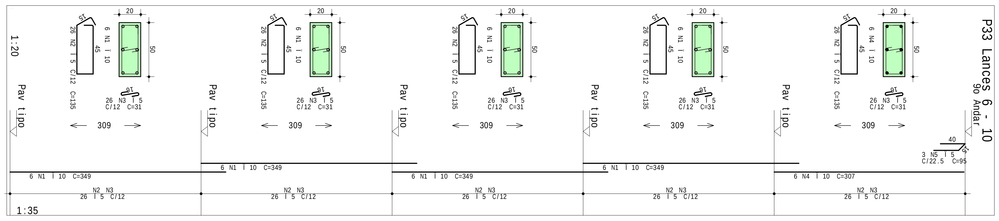
ESCALA: 1:20
UNIDADES: mm
ESCALA VARIAVEL
CLIENTE
OBRA
TCC - PERU c/ sismo 2
TITULO
P6 Lances 6 - 10
P7 Lances 6 - 10
P29 Lances 6 - 10
P30 Lances 6 - 10
P31 Lances 6 - 10
P34 Lances 6 - 10
P37 Lances 6 - 10
08/03/2025
ARQUIVO: TCC-PAV-V1G-013-R00
FOLHA Nº 0001
013
REV. Nº 00

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRACAO LATIN PL TCC-PAV-VIG-014-R00.PLT 08/03/2025 18:06:26

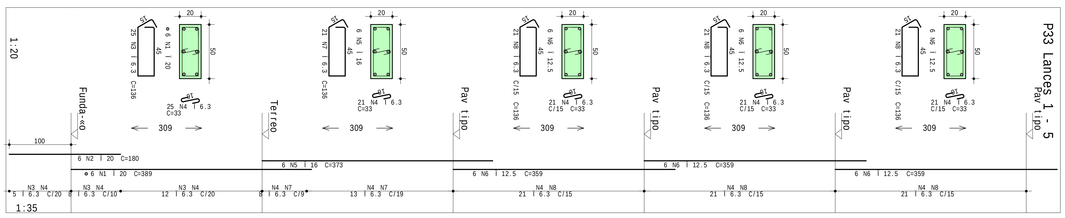
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



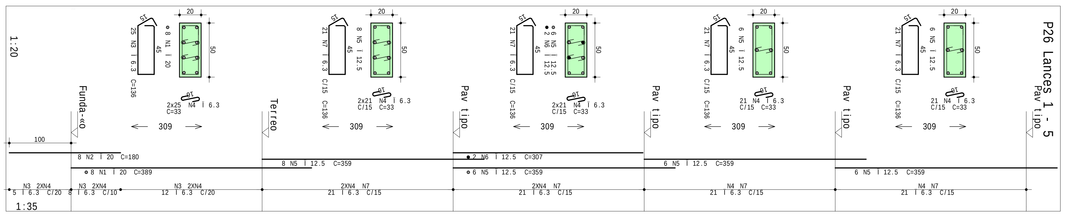
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



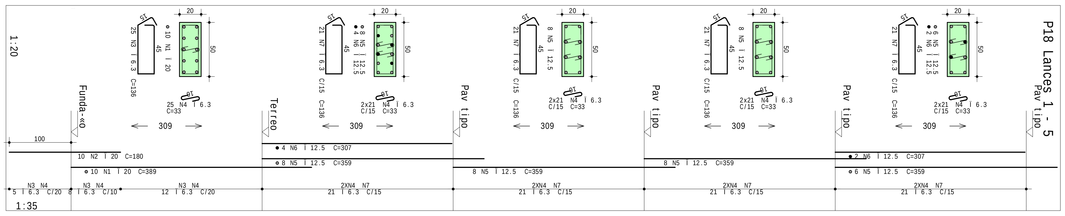
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



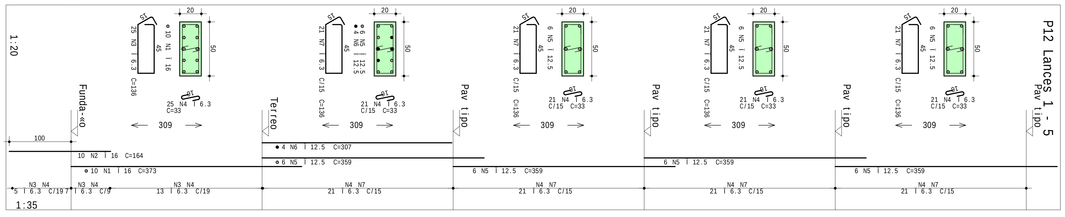
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



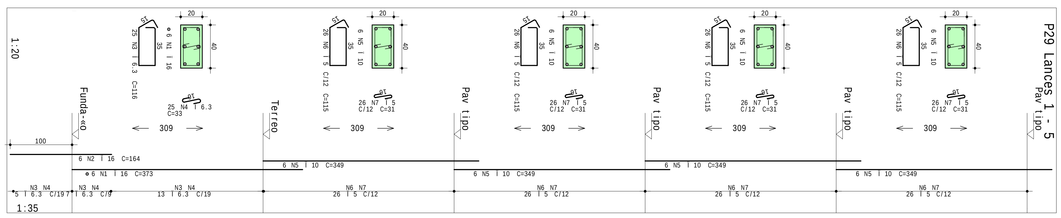
Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



Desenho produzido por vers«o acad°mica, proibido uso comercial



DOCENTE
ING. MSc. WILMER MARCELO CONDORI MAMANI
DISEÑO
ING. MSc. WILMER MARCELO CONDORI MAMANI
ESTUDIANTE
UNIVERSIDAD FEDERAL DE INTEGRACION LATINOAMERICANA
CARRERA
INGENIERIA CIVIL

TEMA
TCC - PERU c/ sismo 2

TITULO
P12 Lances 1 - 5
P18 Lances 1 - 5
P26 Lances 1 - 5
P29 Lances 1 - 5
P32 Lances 6 - 10
P33 Lances 1 - 5
P33 Lances 6 - 10

ESCALA
1:20 ; 1:35

ARCHIVO
TCC-PAV-VIG-014-R00

FECHA
08/03/2025

HOJA Nº
0001

DOC. Nº
014

REV. Nº
00