

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO ACRÉSCIMO DE PAVIMENTOS EM UMA EDIFICAÇÃO DA CIDADE DE SANTA TEREZA DO OESTE-PR

RIBEIRO, Angélica Moraes¹

RACHID, Ligia Eleodora Francovig²

RESUMO: Na engenharia civil, quando uma obra é realizada, é necessário que as estruturas sejam calculadas e dimensionadas com precisão, sendo fundamental a elaboração de um projeto estrutural, para trazer segurança na sua execução. Sendo assim, este trabalho tratou da análise para o acréscimo de pavimentos em uma edificação localizada em Santa Tereza do Oeste/Paraná. Primeiramente, verificou-se se as leis de zoneamento da cidade permitiriam o aumento de pavimentos na edificação. Posteriormente, elaborou-se o projeto arquitetônico para dar início ao lançamento da estrutura no *software* TQS, levantou-se a capacidade de carga da estrutura atual, para mais dois pavimentos. Em que se constatou a necessidade de reforços nas estruturas existentes, para implantar e executar os novos pavimentos. Alguns elementos estruturais poderiam sofrer ruptura, devido ao cisalhamento, sendo necessário o aumento da seção dos mesmos, por meio do método convencional de demolição e reconstrução. Aumentando então o volume de concreto em 54,89% no térreo e 60,64% no pavimento 2. Para que posteriormente, a estrutura pudesse suportar toda a sobrecarga gerada pela inserção de novos pavimentos.

Palavras-chave: Análise estrutural. Reforço estrutural. Acréscimo de pavimentos.

1. INTRODUÇÃO

O projeto estrutural de uma edificação é parte fundamental de qualquer obra relacionada à engenharia civil, sendo um conjunto de informações de dimensionamento da estrutura. Utilizando-se de normas faz-se cálculos e definem-se as cargas, resistência e durabilidade do edifício, trazendo segurança na realização dessa construção.

O engenheiro civil projetista deve realizar os cálculos e dimensionar as estruturas para não apresentarem falhas nem deformidade excessiva, sob quaisquer condições de carregamento. Devido a isso, é exigido que o projeto seja feito com uma capacidade significativa maior do que a prevista nas cargas de serviço, reais ou especificadas, pelas normas técnicas (LEET, UANG e GILBERT, 2010).

De acordo com Wordell (2003), quando se realiza um projeto estrutural de uma edificação, o lançamento dos pilares e o dimensionamento dão suporte às ações verticais que

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: angelicamoraes1996@gmail.com.

² Docente, Doutora, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.

sustentam a estrutura, onde esses esforços compõem a atuação do seu peso, assim como cargas permanentes e possíveis cargas acidentais.

Ainda, segundo Wordell (2003), a escassez e custo elevado de espaço fazem com que, atualmente, os projetos busquem otimizar a utilização da pouca área horizontal disponível, elevando a altura dessas edificações. Com esse aumento, as cargas verticais nos pilares não são o único problema, mas também a estabilidade global da estrutura que é fundamental que seja verificada, para que os pilares possam resistir aos esforços.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, classificados em capacidade de resistência, desempenho de serviço e durabilidade, durante sua construção e uso, assim como, aos requisitos adicionais estabelecidos entre projetista estrutural e o contratante.

Este trabalho é um estudo de caso, trata-se de um edifício localizado na cidade de Santa Tereza do Oeste/PR, com 2 pavimentos, área total construída de 340,23 m², cujo pavimento térreo possui 159,35 m² e segundo andar de 180,88 m², sendo a intenção do proprietário acrescentar pelo menos 2 pavimentos. Para essa realização, foi feita uma análise estrutural da edificação, com relação a superestrutura, sendo estudada a necessidade de reforço estrutural por meio do método convencional de demolição e reconstrução. Assim, foi verificado, junto a prefeitura da cidade, se a lei de zoneamento permite esta alteração de área, altura e ocupação desse solo. Dessa forma, com base nas normas vigentes, foi efetuada a análise do projeto estrutural da edificação existente para o acréscimo de novos pavimentos.

Além do fator técnico do projeto estrutural, tem-se a segurança dos usuários quanto ao interesse do proprietário para a ampliação dessa edificação na cidade de Santa Tereza do Oeste/PR, visto que com o crescimento da cidade há uma demanda por moradia, inclusive, por ser considerada uma cidade dormitório, por ficar próxima da cidade de Cascavel-PR. Como a pretensão é acrescentar o número de pavimentos da edificação deve ser verificado se ela suportará tamanha reforma e ampliação. Tendo isso em mente, este trabalho tem grande relevância ao levantar e analisar todos os pontos essenciais necessários para permitir a viabilização do aumento de pavimentos no edifício estudado.

O problema desta pesquisa é: Quais são os requisitos necessários para viabilizar o acréscimo de mais pavimentos na edificação estudada localizada na cidade de Santa Tereza do Oeste/PR?

Com as informações apresentadas, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica para o acréscimo de pavimentos em um edifício de Santa Tereza do Oeste/PR. Já os objetivos específicos foram:

- a) Averiguar se o acréscimo dos pavimentos respeita a Lei de Zoneamento da região em que está situado o edifício;
- b) Conferir *in loco* se o edifício foi executado de acordo com o projeto estrutural;
- c) Calcular o valor das cargas da estrutura para o acréscimo de dois pavimentos do edifício.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE SANTA TEREZA DO OESTE-PR

O Plano Diretor Municipal estabelece as diretrizes para o desenvolvimento do município de Santa Tereza do Oeste. A Câmara Municipal aprovou e o prefeito municipal sancionou a seguinte Lei Municipal nº 2000/2016, sendo esse um mecanismo de grande relevância legal, que visa orientar a ocupação e uso do solo, tomando por base interesses coletivos.

2.1.1 Lei de zoneamento

A Lei Municipal nº 2000 (2016), da cidade de Santa Tereza do Oeste/PR, institui o Plano Diretor e estabelece as diretrizes para o desenvolvimento do município. Essa lei é instrumento básico para o desenvolvimento e expansão urbana da cidade, ela regulamenta e estabelece as normas para a realização da política urbana e rural do município. São integrantes do Plano Diretor, os diplomas legais dedicados à regulação da ocupação territorial, desenvolvimento e expansão urbana.

O artigo 41 da Lei de Zoneamento da cidade, sobre macrozoneamento, descreve que ele é a visão macro do uso e ocupação do solo urbano e rural, obtida através da análise dos dados mais representativos e das correlações efetuadas entre eles.

Este estudo foi voltado para Macrozona VI, Urbana e de expansão urbana da Sede do Município. Dessa forma, a Seção III, do Macrozoneamento, artigo 48 dispõe que: a cidade de Santa Tereza do Oeste fica dividida em áreas urbanizáveis e áreas não-urbanizáveis. Segundo o artigo 49, são urbanizáveis as áreas ocupadas ou não, que, por suas características físicas e ambientais, dão condições de ocupação urbana com qualidade e segurança.

Com as determinações das leis municipais tem-se um cabedal de informações que devem ser avaliadas para motivar a análise da viabilidade técnica a que se propõe este trabalho, assim, o ponto importante a se ponderar é a segurança estrutural da edificação.

Segundo Santos (2016), o aumento do número de pavimentos de uma edificação, os deslocamentos horizontais e os efeitos de segunda ordem se tornam maiores. Com isso, nas estruturas de múltiplos pavimentos, a influência de rigidez das ligações viga-pilar na estabilidade global pode ser crítica, sendo de extrema importância investigar essa relação.

Dessa forma, com os resultados obtidos na análise estrutural, é possível realizar o dimensionamento da estrutura e elaborar o detalhamento do projeto estrutural. Quando o modelo estrutural utilizado não for adequado, pode-se obter respostas não-condizentes com a realidade da edificação em serviço, colocando em risco a segurança estrutural (SANTOS, 2016).

2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Conforme Leet, Uang e Gilbert (2010), o projeto de qualquer estrutura normalmente é executado em etapas de projeto e análise, logo cada etapa fornece novas informações que permitem ao projetista passar para a fase seguinte, sendo assim, o processo continua até que a análise indique que não é mais necessária nenhuma alteração no tamanho dos elementos.

Conforme Santos (2016), a engenharia estrutural vem sofrendo várias mudanças após o surgimento de grandes tecnologias mais eficientes, que possibilitaram o desenvolvimento de métodos computacionais. Em vista disso, para este estudo, foi feito o uso de programas de cálculo estrutural.

2.2.1 Normas estruturais

As principais normas estudadas neste documento são extremamente necessárias para o dimensionamento e análise estrutural do trabalho. Essas NBR's são descritas a seguir e serão utilizadas para a conclusão de toda a análise, porém o principal foco será a NBR 8681 (ABNT, 2004).

A NBR 8681 (ABNT, 2003) refere-se a ações e segurança nas estruturas, que fixa requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil, bem como estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações.

Serão analisados, portanto, os estados limites (estados limites últimos ou estados limites de serviço). Os estados limites considerados nos projetos de estruturas dependem dos tipos de materiais de construção empregados e devem ser especificados pelas normas referentes ao projeto de estruturas com eles construídas.

A NBR 8681 (ABNT, 2003) estabelece que deve ser realizada a análise das combinações das ações no edifício, sendo classificadas segundo sua variabilidade no tempo nas categorias de ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais. As ações permanentes são consideradas em sua totalidade, enquanto as ações variáveis são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança. As ações variáveis móveis devem ser consideradas em suas posições mais desfavoráveis para a segurança. A aplicação de ações variáveis ao longo da estrutura pode ser feita de acordo com regras simplificadas, estabelecidas em Normas que considerem determinados tipos particulares de construção. As ações incluídas em cada uma destas combinações devem ser consideradas com seus valores representativos, multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação das ações.

Para a verificação da segurança em relação aos possíveis estados limites, para cada tipo de carregamento, devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas da estrutura (NBR 8681/2003).

Como prescrito na NBR 8681 (ABNT, 2003), verifica-se a segurança por meio da comparação dos valores que certos parâmetros tomam na análise estrutural, quando na estrutura atuam as ações a que ela está sujeita, quantificada e combinada, de acordo com as regras estabelecidas por esta Norma, com os valores que estes mesmos parâmetros tomam quando se manifestam os estados limites considerados. As variáveis empregadas como parâmetros para estabelecimento das condições de segurança são das naturezas ações, esforços internos (solicitações, esforços solicitantes, tensões) e efeitos estruturais (deformações, deslocamentos, aberturas de fissuras).

Levando isso em consideração foi usada a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), que fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais.

Deste mesmo modo foi necessário considerar as definições presentes na NBR 15575 (ABNT, 2013) que estabelece os requisitos e critérios de desempenho os quais se aplicam ao edifício habitacional de até cinco pavimentos, como um todo integrado, podendo ser avaliado de forma isolada para um ou mais sistemas específicos.

Mas de toda forma, a norma mais utilizada e necessária para execução da análise foi a NBR 8681 (ABNT, 2004) que trata dos estados limites últimos e combinação de ações, além de esforços e efeitos internos e estruturais. Essa norma foi usada para realização dos cálculos e estudo de viabilidade técnica para acréscimo de mais pavimentos.

2.2.2 Paredes em *drywall* para redução de carga

De acordo com Heringer (2015), o *drywall* é ótimo para vedações internas convencionais das edificações consistindo em chapas de gesso aparafusadas em estruturas de perfis de aço galvanizado, sendo mais rápido de execução. O *drywall* tem espessura menor do que as de alvenaria, resultando em paredes com peso próprio bem menor.

Ainda conforme Heringer (2015), esse tipo de sistema utiliza uma estrutura metálica na qual as placas de gesso acartonado são parafusadas. A estrutura cria guias e montantes, as guias são utilizadas na horizontal, sendo que uma é afixada na parte superior do pavimento e a outra no piso. Os montantes são fixados dentro das guias, ficando assim na vertical, com espaçamento mínimo de 60cm.

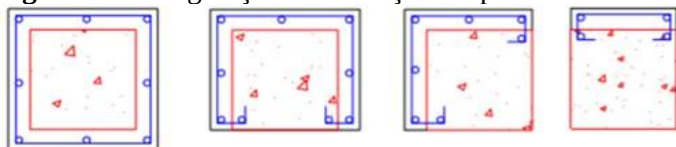
Conforme Vitório (2017), tem-se uma relação de diferença de peso de uma parede em gesso acartonado em relação a alvenaria comum, em tijolo cerâmico. Há uma diferença de 86% no peso, sendo mais leve do que as de tijolos, com um aumento de 4% de espaço. Dessa forma, uma parede simples com uma chapa de 12,5mm de cada lado, pesa cerca de 22kg/m².

2.2.3 Reforço estrutural

Conforme Couto *et al.* (2016), não há uma normatização específica para o reforço de estruturas, a maioria das convenções são situações usadas como critérios estabelecidos para o dimensionamento dos elementos estruturais novos. Há casos em que se deve realizar uma análise mais detalhada das estruturas de concreto, para então atingir um dimensionamento que configure as propriedades resistentes necessárias, atendendo os critérios mínimos de ductilidade e segurança dos estados limites.

Takeuti (1999), menciona que para reforçar os pilares, pode-se realizar o aumento de suas dimensões, com concreto de resistência adequada e utilizar armaduras longitudinais e transversais adicionais, ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Configurações de reforços em pilares.

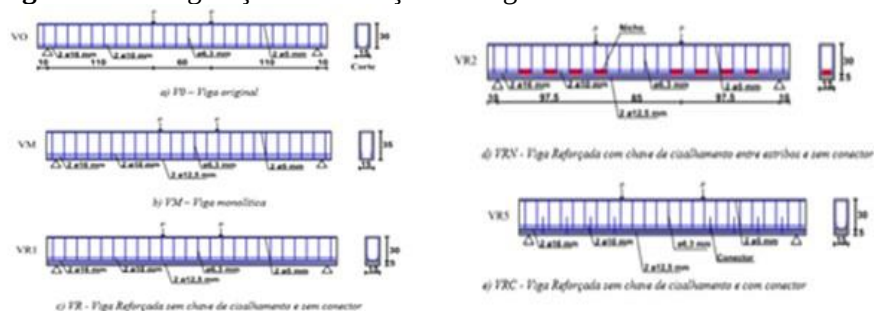


Fonte: Takeuti (1999).

Dessa forma, fica ainda recomendável a consideração do cintamento apenas para pilares curtos, pilares esbeltos devem considerar outros procedimentos, além de serem verificados os limites de deformação de cada elemento e eventuais acréscimos de carga. Em casos de não conformidade, uma opção citada por parte do projetista estrutural é a substituição do concreto nos elementos onde a resistência não atingiu o patamar mínimo (COUTO *et al*, 2016).

Para vigas, pode-se usar também reforços por meio de encamisamento, de acordo com Soto (2013), uma das maiores preocupações quanto a isso é a aderência entre o concreto do substrato e o concreto do reforço. Sem essa aderência não seria garantido a monolitidade, que faz a peça se comportar em conjunto a peça monolítica, conforme a Figura 2.

Figura 2: Configurações de reforços em vigas.



Fonte: Soto (2013).

Segundo Helene (1992), problemas ocasionados por cisalhamento são gerados por sobrecargas não previstas, estribos insuficientes, estribos mal posicionados ou, ainda, concreto de resistência inadequada. Dessa forma, após análise adequada do componente estrutural, algumas alternativas, para correções, podem ser tomadas como: recuperar o monolitismo através de epóxi com ou sem limitação de sobrecarga; reforçar essa viga com colocação de nova armadura longitudinal e estribos com reconcretagem; colocação de chapas metálicas aderidas com epóxi; eventualmente, demolir a peça e reconstruir.

Couto *et al.* (2016), afirmam que a técnica de reforço por substituição do concreto pode ser realizada de modo que não seja necessário substituir 100% do concreto de uma seção para que se tenha a envoltória resistente do pilar reestabelecida, realizando a verificação estrutural de pilares com partes de sua seção transversal com diferentes módulos e resistências.

Segundo Couto *et al.* (2016), nos dias de hoje, é possível obter em canteiro de obras resistências de até 80 MPa, com materiais de alto desempenho, com uso de grautes e microconcretos industrializados. Sendo assim, essa seria uma grande vantagem a ser explorada para a realização de reforço e recuperação estrutural.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCAL DA PESQUISA E TIPO DE ESTUDO

O presente trabalho tratou de uma análise em um edifício da cidade de Santa Tereza do Oeste-PR, cujo proprietário almeja construir mais pavimentos, pois a cidade tem apresentado um crescimento expressivo. A cidade está distante 20 km de Cascavel, que é a 5ª cidade mais populosa do estado do Paraná, com aproximadamente 329 mil habitantes, segundo dados do IBGE (2019). Sendo assim, Santa Tereza é um local adequado para moradia das pessoas, devido ao baixo valor do custo de vida.

O estudo foi realizado pelo método qualitativo e quantitativo com as verificações das cargas estruturais existentes e das novas cargas com o aumento dos dois pavimentos.

A partir das informações anteriores, o proprietário aceitou que fosse realizada a análise na edificação de sua propriedade, pois tem como fonte de renda o aluguel de apartamentos na cobertura e futuramente deseja acrescentar mais pavimentos para novos apartamentos. O proprietário solicitou que seja considerado o acréscimo de 2 (dois) novos pavimentos, com 2 (dois) apartamentos por andar, composto por 2 (dois) quartos, sala de jantar e estar, varanda, cozinha, lavanderia e banheiro.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O edifício atual é constituído de uma sala comercial no térreo e 2 apartamentos na área de cobertura, tendo então 2 pavimentos. Foi construído em 2018, conforme projetos fornecidos por uma construtora, Apêndice A.

Nas plantas baixas do projeto arquitetônico, o pavimento térreo engloba uma sala comercial com área de 92,26 m², duas áreas de serviço com 4,95 m² cada uma, dois banheiros, um feminino e outro masculino com 3,13 m² cada um. Além de uma escada que dá acesso aos apartamentos superiores com área comum de 5,59 m².

A cobertura dispõe de dois apartamentos que são diferentes. O apartamento 1 possui 3 dormitórios, uma sala de estar, sala de jantar, cozinha, varanda e lavanderia, área de circulação e um banheiro, totalizando 72,32 m² de área.

O apartamento 2 com 73,11 m² de área total possui 3 dormitórios, sala de jantar e sala de estar no mesmo ambiente, cozinha, varanda, lavanderia, área de ventilação, área de circulação e banheiro.

A estrutura é de concreto armado, com fechamento em alvenaria com blocos cerâmicos revestidos com argamassa interna e externamente. A cobertura é de telha fibrocimento ondulada, estrutura em madeira com calha e rufos metálicos.

De acordo com o projeto e informações fornecidas pela construtora, a fundação foi realizada em estacas e blocos de coroamento, sendo 46 estacas com 4 (quatro) metros de profundidade e com armadura de espera para o bloco. O volume de concreto dos blocos com classe de resistência C-20 (fck = 20 MPa) possuem 6,85m³ e área de forma de 42 m². As vigas do pavimento fundação totalizaram um volume de concreto com classe de resistência de C-30 (fck = 30 MPa) igual a 5,4 m³ e área de forma de 85,26 m².

A edificação possui área total de 340,23m², térreo com área de 159,35 m² e o primeiro pavimento com área de 180,88 m². A taxa de ocupação é de 32,74%, com um coeficiente de aproveitamento 0,65. A área adicional impermeável é pavimentada com blocos de concreto intertravado com área de 112,20 m² e taxa de impermeabilização de 43,43%.

3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada a partir das plantas da edificação, disponibilizadas pela construtora, ou seja, as plantas do projeto arquitetônico, planta de fundação e projetos estruturais.

Foram realizadas visitas técnicas na edificação que aconteceram entre os meses de junho, julho, agosto e setembro de 2020 para a avaliação estrutural existente e dos detalhes.

As fundações não foram recalculadas nesta análise, somente foram verificadas as novas cargas atuantes, geradas pelo acréscimo dos novos pavimentos e pelas alterações

necessárias na estrutura inicial. A inspeção da estrutura da edificação foi realizada *in loco*, confrontando com os projetos estruturais a anotando as possíveis inconformidades na execução.

Foram utilizadas as normas NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 6123 (ABNT, 1988), NBR 8681 (ABNT, 2003), NBR 14931 (ABNT, 2004), NBR 15575 (ABNT, 2006) e materiais bibliográficos para os cálculos estruturais do acréscimo de novos pavimentos e a verificação da necessidade de reforço nos elementos estruturais de concreto armado dos pavimentos existentes.

Para este trabalho também foi feita uma consulta junto à prefeitura para verificar se o acréscimo de pavimentos atenderá a lei de zoneamento da cidade. Em relação ao aumento de altura e de área, nesse caso, é necessário o aval da prefeitura de Santa Tereza do Oeste - PR, pois no mapeamento disponível ao público não estão identificadas as macrozonas.

3.4 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Para a análise estrutural utilizou-se o TQS que é um dos *softwares* utilizado para cálculo estrutural, além de ter um conjunto de ferramentas para dimensionamento, detalhamento, desenho e estruturas de concreto armado, protendido e pré-moldado. Com o TQS foram gerados modelos específicos para análises ELU – Estado Limite Último e ELS – Estado Limite de Serviço com rigidez e combinações convenientes para estes fins.

De acordo com as informações definidas nos dados do edifício e no modelador estrutural, as forças são automaticamente aplicadas nos modelos estruturais para simular as ações (peso-próprio, vento, retração etc.). Todas as combinações de ações requeridas para as análises ELU e ELS são automaticamente geradas pelo TQS, de acordo com a NBR 6118/2014 e os dados do edifício.

As combinações ELU foram utilizadas para o dimensionamento dos elementos e para avaliação da estabilidade global. As combinações ELS foram adotadas para verificação do desempenho em serviço da estrutura.

Os deslocamentos laterais do edifício provocados pelo vento para análise em serviço foram calculados no Pórtico ELS. Os resultados da verificação da estabilidade global foram apresentados em um relatório específico com gráficos que auxiliam a interpretação de resultados.

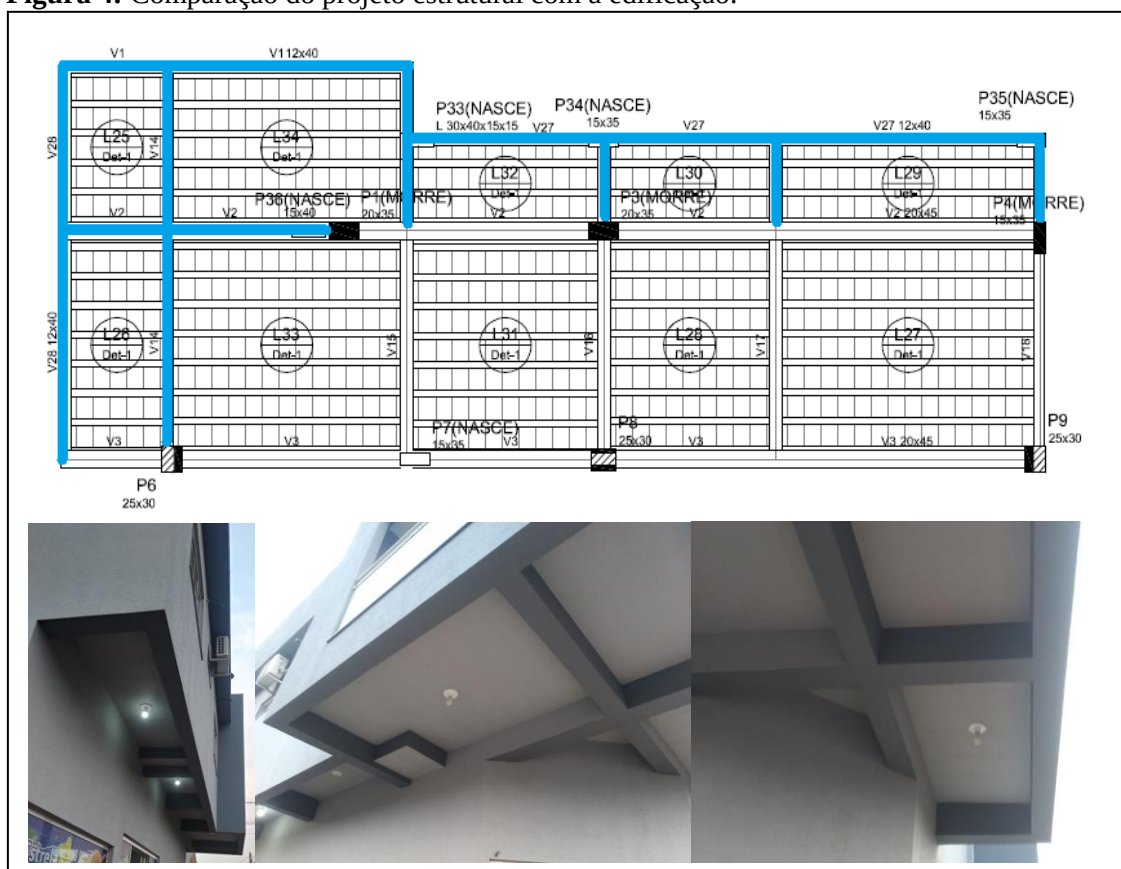
cobertura e uma panificadora no pavimento térreo. Os coeficientes de aproveitamento, taxas de ocupação, impermeabilidade, recuos, dimensões mínimas dos lotes, além do item de altura máxima referente aos pavimentos, permitem até 4 pavimentos e a partir do 3º pavimento deve haver um recuo mínimo de 1,5m.

Em relação ao recuo, consultou-se a prefeitura que informou que deve ser realizado um recuo interno no projeto na parte lateral, dessa forma, para os pavimentos que seriam acrescentados, deve haver uma redução da área dos apartamentos de 180,88m² para 139,30m².

4.1 VERIFICAÇÃO *IN LOCO* DA EDIFICAÇÃO

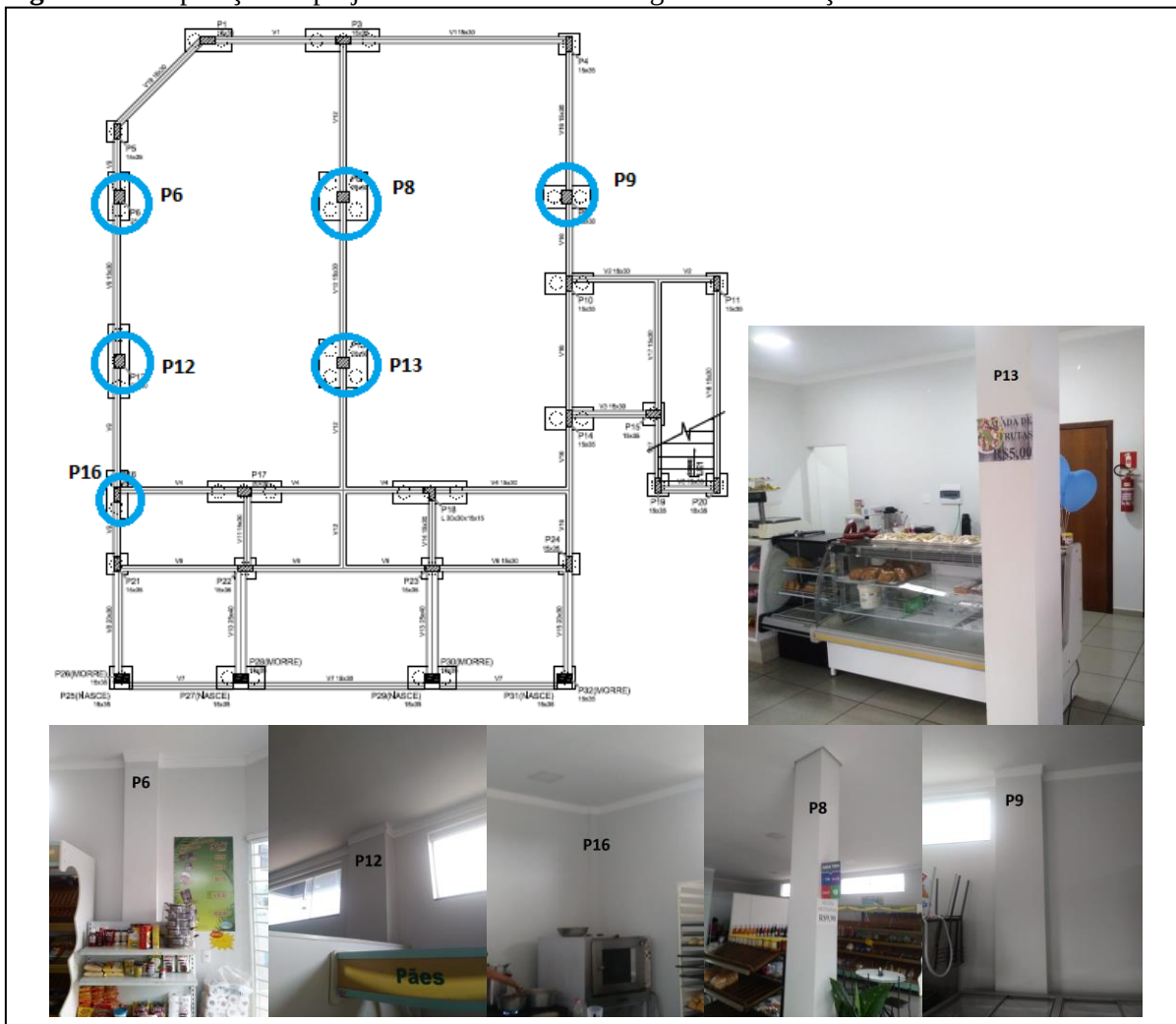
Durante a visita técnica à edificação, foi possível visualizar alguns pilares do pavimento térreo e algumas vigas da sacada, podendo ser constatado que estavam de acordo com o projeto. Na Figura 4 estão destacadas em azul as vigas que puderam ser observadas e na Figura 5 estão circulados os pilares vistos.

Figura 4: Comparação do projeto estrutural com a edificação.



Fonte: Autora (2020).

Figura 5: Comparação do projeto estrutural com as imagens da edificação.



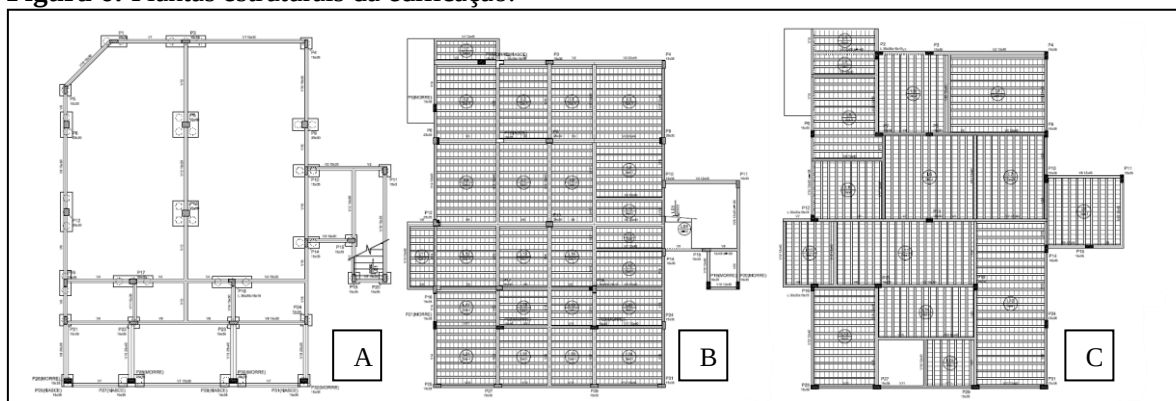
Fonte: Autora (2020).

Com base na visita *in loco* foi constatada a concordância entre planta e edificação, na medida do que foi possível ser inspecionado, através dos elementos estruturais que foram observados no pavimento térreo e vigas da sacada. Atualmente, os apartamentos existentes estão habitados e não foi possível a visita ao pavimento superior, a fidelidade do projeto, portanto, foi comprovada de forma parcial, pelo método visual. Quanto às fundações, foram obtidas informações apenas por meio do projeto fornecido e as mesmas não foram verificadas após a sua execução, que conforme a construtora, foi realizada por uma empresa especializada neste tipo de serviço.

4.2 CÁLCULO DAS CARGAS NA ESTRUTURA

As figuras a seguir são os projetos estruturais da edificação, já existente, que foram fornecidos pela construtora responsável. A Figura 6, cada pavimento foi nominado por letras, sendo que A representa as fôrmas de fundação, B são as fôrmas do pavimento térreo e a C as fôrmas da cobertura.

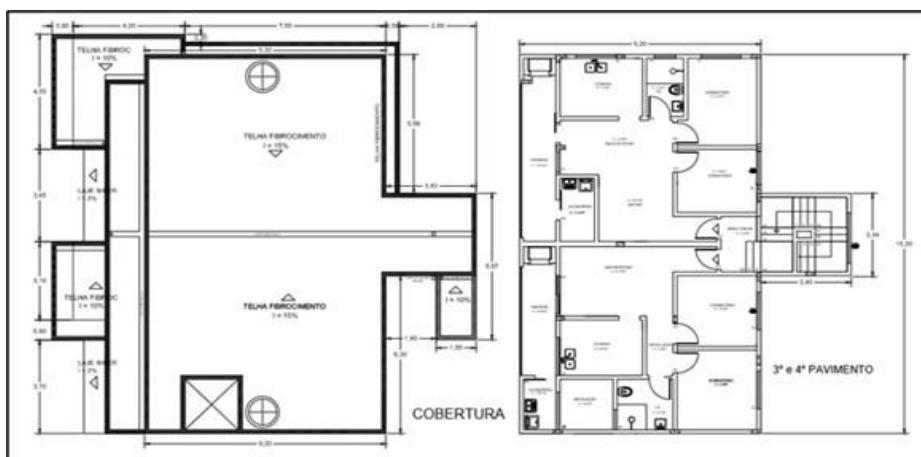
Figura 6: Plantas estruturais da edificação.



Fonte: Wickoski (2018).

Devido as normas de uso e ocupação do solo da região, realizou-se o recuo interno de 1,5m nas novas plantas arquitetônicas dos pavimentos que deverão ser acrescentados à edificação. Sendo assim, na Figura 7 estão apresentados os novos projetos, dos pavimentos 3 e 4 que deverão ser acrescentados, a planta de cobertura e também a inserção dos novos degraus da escada.

Figura 7: Planta de cobertura e dos pavimentos 3 e 4.



Fonte: Autora (2020).

Com essas considerações, foi lançado no *software* TQS a estrutura da antiga edificação seguindo o projeto das fôrmas fornecido pela construtora com a adição dos novos

pavimentos 3 e 4, apresentados na Figura 7. Após isso, foi observado que em algumas vigas do pavimento térreo ultrapassaram o limite resistente de 21,68 tf, o que poderia causar problemas nas diagonais comprimidas de concreto e a resistência à compressão diagonal de concreto máxima de 1,00, gerando assim, erros graves no processamento em relação ao rompimento por cisalhamento e ruína da biela. Isso é decorrente da sobrecarga que foi adicionada com os novos pavimentos, sendo necessária a tomada das medidas abordadas a seguir, para amenizar esses problemas.

Levando em conta o sobrepeso da alvenaria convencional aplicada sobre a estrutura, foram adotadas paredes com *drywall* para os novos pavimentos, além da análise para reforço das vigas que apresentaram ruptura estrutural.

Considerou-se para cálculo de carga das paredes com *drywall* a espessura da parede, a altura da parede e altura da viga e o peso específico do material utilizado. Para alvenaria usou-se 13 kN/m³, entretanto, para paredes em *drywall*, de acordo com Couri Junior (2016), usualmente o valor é 19 kN/m³. Logo, para o cálculo da carga do *drywall* multiplicou-se por 0,025 m que é a espessura de ambas as placas.

Esse cálculo foi levado em conta para todas as paredes internas do 3º e 4º pavimento, até mesmo nas áreas molhadas, já que nessas regiões pode utilizar as chamadas placas verdes que possuem resistência à umidade. Os fechamentos verticais foram com alvenaria de blocos cerâmicos, como nos pavimentos existentes.

Foram dimensionadas duas lajes, uma para cada área de apoio à caixa d'água, esta solução foi adotada para diminuir o sobrepeso sobre as vigas, deverá ser mantida a cobertura em fibrocimento, com estrutura em madeira sobre as vigas do pavimento 4, evitando a colocação de lajes nas demais áreas. E então, deverá ser adotado forro de gesso para isolamento térmico e acústico da edificação.

Verificou-se, porém, que mesmo com a utilização desses recursos feitos para diminuir a sobrecarga na edificação, a viga 2 do pavimento térreo na simulação apresentou ruptura, ruína da biela com a resistência e a compressão diagonal do concreto igual a 1,56, ultrapassando o valor máximo de 1,00 estabelecido no arquivo de critérios do TQS. Além disso, os pilares P15, P17 e P18 apresentaram esbeltez maior do que o limite geral de 200, definido pelo *software*.

As soluções para a viga seriam o aumento da resistência do concreto, o aumento da seção da viga ou então a alteração do modelo estrutural, realocando pilares e vigas, para que a estrutura suportasse as cargas aplicadas. O Quadro 1 representa as seções dessas peças e o problema gerado pela sobrecarga.

Quadro 1: Análise dos problemas gerados pela sobrecarga.

PEÇA	SEÇÃO	PROBLEMA	MÉTODO	NOVA SEÇÃO
V2 – Pv2	20x45	Ruptura por Cisalhamento	Demolição e reconstrução	30x55
Pilar 15	15x35	Esbeltes >200	Demolição e reconstrução	25x40
Pilar 17	20x30	Esbeltes >200	Demolição e reconstrução	30x40
Pilar 18	15x30	Esbeltes >200	Demolição e reconstrução	30x30

Fonte: Autora (2020).

Observou-se que o método por encamisamento não seria aplicável aos pilares e viga com deformidade, devido ao grau de esbeltez e dificuldade de colocação de armadura na parte inferior da viga que está sobre uma parede de alvenaria, sendo necessário um aumento da seção em ambos os sentidos. A tática então estudada para esse caso, adotou-se o método convencional de reconstrução das estruturas com a seção que suportasse a carga.

Nesse reforço que deverá ser pela substituição total do concreto da seção, deverá ser usado um sistema adequado de escoramento da estrutura, demolir a estrutura por etapas e executar o preenchimento de cada trecho com concreto compatível com a especificada em projeto (COUTO *et al*, 2016 *apud* HELENE, 2003).

Conforme Couto *et al* (2016), os procedimentos de reforços estruturais deverão ser realizados cuidadosamente, pois em certos casos a estrutura pode passar por situações críticas, com nível de segurança abaixo dos limites normativos, principalmente em reforços do gênero que requerem demolição, sendo assim, é fundamental avaliar o impacto desse procedimento, em função da carga atuante no momento do reforço.

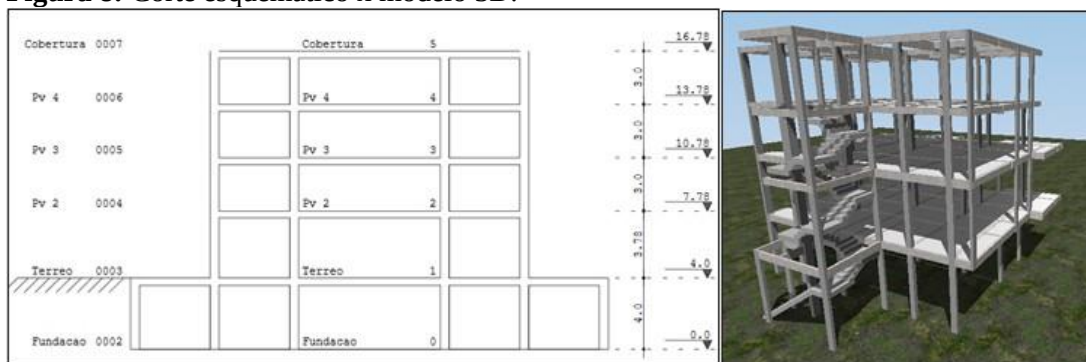
O procedimento deveria ser realizado antes da aplicação das novas cargas, geradas pelos novos pavimentos, para evitar a ruptura total da viga e dos pilares, sendo necessário o uso de escoramento por etapas e em cada um dos 2 pavimentos já construído, respeitando o limite da capacidade resistente do edifício.

Na fase de demolição de cada trecho, as vigas e lajes do entorno da estrutura deverão ser escoradas para que o procedimento não cause impactos negativos no restante da estrutura. Cada trecho do reforço deve ser executado isoladamente para que o trecho anterior tenha resistência adequada para a sustentação da carga atuante (COUTO *et al*, 2016).

Com as novas dimensões dos pilares e da viga foram gerados, com o auxílio do *software* TQS, os modelos de projeto referente ao dimensionamento de grelhas, pilares, vigas, armaduras e fôrmas.

Na Figura 8 é representado um corte esquemático do edifício e uma das vistas do modelo 3D com os pavimentos existentes, os pavimentos acrescidos e a cota de cada pavimento, sendo a altura após a reforma de 16,78m.

Figura 8: Corte esquemático x modelo 3D.



Fonte: Software TQS (2020).

Para o cálculo o TQS utiliza a NBR 6118 (ABNT, 2014), a qual é a norma base para os cálculos dessa edificação, como se trata de uma edificação residencial e comercial, a classe de agressividade ambiental utilizada é moderada urbana com risco pequeno de deterioração, como mostra a Figura 9.

Figura 9: Classe de Agressividade Ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a,b}	Pequeno

Fonte: Memorial de Cálculo Software TQS (2020).

A qualidade do concreto quanto à classe de agressividade aplicada é C30, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), com cobrimento nominal para lajes de 25 mm e viga, pilares e elementos estruturais em contato com o solo de 30 mm.

O valor adotado para velocidade básica do vento em Cascavel/PR é de 48m/s com base na NBR 6123 (ABNT, 1988). O fator de terreno é S1 de 1,00, categoria de rugosidade S2 de IV, classe da edificação A e fator estatístico S3 de 1,00.

Os parâmetros de estabilidade global utilizadas no projeto foram um modelo de grelha para os pavimentos e modelo de pórtico espacial para a análise global, onde as cargas da grelha são transferidas para o pórtico espacial. Na grelha as lajes são consideradas, junto com as vigas e os apoios formados pelos pilares, para a análise de deformações, obtendo assim carregamentos verticais que atuarão no pórtico espacial e o dimensionamento das armaduras

das lajes. Foi realizada também uma análise através de grelhas não lineares, onde com o incremento de cargas, as inércias reais das seções foram estimadas considerando as armaduras de projeto e fissuração estágio I e II.

Para as análises de ELU e ELS, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), a não-linearidade física pode ser considerada de forma aproximada, tomando-se como rigidez dos elementos estruturais os valores apresentados na Figura 10, definidos por meio da redução da rigidez bruta $EC.IC$, de acordo com o tipo de elemento estrutural. O ELS não considera os coeficientes de não-linearidade física.

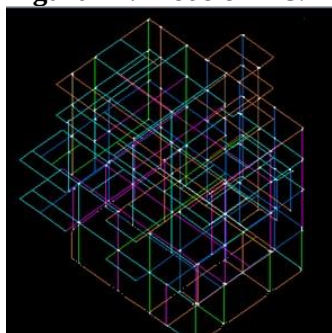
Figura 10: Coeficiente de não-linearidade.

Elemento estrutural	Coef. NLF
Pilares	0,80
Vigas	0,40
Lajes	0,30

Fonte: Memorial de Cálculo *Software TQS* (2020).

A Figura 11 representa o modelo ELU/ELS gerado pelo processamento do edifício após as configurações. Conforme o manual TQS, esses modelos são criados completamente independentes da análise estrutural, ELU é utilizado para a obtenção dos esforços solicitantes e verificação da estabilidade global, enquanto o ELS para a análise estrutural de limite de serviço, flechas, vibrações etc. Ambos são formados por um único modelo incorporando lajes, vigas e pilares.

Figura 11: Modelo ELU/ELS em formato colorido.



Fonte: *Software TQS* (2020).

Os valores apresentados na Figura 12, referem-se às reações de apoio para verificações de ELU da edificação, esses esforços estão chegando até os blocos de fundação, possuindo valores característicos. Utilizando-se o sistema de coordenadas globais, tem-se a força x positiva empurrando o apoio da esquerda para a direita, o momento em x positivo gira o apoio em torno do eixo x no sentido horário. A força em y gera força positiva de baixo para cima e o

momento y gira o apoio no sentido y também no sentido horário. Nessa mesma configuração a força z positiva empurra o apoio de cima para baixo, assim o momento z gira o apoio no sentido horário.

Figura 12: Tabela de esforços nos blocos de fundação.

Elem	FZ MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações			MX MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações			MY MAX-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações			FZ MIN-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações			MX MIN-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações			MY MIN-ELU2-Verificações de estado limite último - Pilares e fundações		
	Fz tf	Mx tfm	My tfm	Fz tf	Mx tfm	My tfm	Fz tf	Mx tfm	My tfm	Fz tf	Mx tfm	My tfm	Fz tf	Mx tfm	My tfm	Fz tf	Mx tfm	My tfm
B1	43.43	0.08	0.14	30.96	0.15	0.07	43.43	0.08	0.14	27.85	0.07	0.01	40.31	-0.00	0.07	27.85	0.07	0.01
B2	32.27	-0.02	-0.10	25.59	0.05	-0.09	29.65	0.02	-0.07	24.84	0.05	-0.09	32.27	-0.02	-0.10	27.46	0.01	-0.12
B3	61.57	-0.07	-0.09	51.90	0.04	-0.01	48.29	0.02	0.05	46.60	0.02	0.03	57.06	-0.11	-0.01	59.88	-0.07	-0.19
B4	26.66	0.03	-0.14	23.68	0.08	-0.13	20.45	0.02	0.15	20.45	0.02	0.15	23.43	-0.03	-0.07	26.66	0.03	-0.14
B5	43.09	0.89	1.37	40.04	3.34	1.58	41.89	-1.28	7.22	36.73	-3.83	-0.34	39.00	-4.67	-0.15	37.06	-0.22	-5.83
B6	26.79	-0.03	0.01	37.63	0.03	0.04	26.19	-0.01	0.22	37.63	0.03	0.04	26.41	-0.04	-0.00	37.90	-0.01	-0.19
B7	35.61	0.06	0.21	35.61	0.06	0.21	34.09	0.01	0.23	26.87	-0.03	0.21	26.87	-0.03	0.21	28.10	0.01	0.18
B8	14.09	-0.01	-0.12	11.72	0.07	-0.11	13.98	0.03	-0.10	11.72	0.07	-0.11	14.07	-0.01	-0.12	11.86	0.03	-0.13
B9	71.27	0.55	4.09	68.53	4.84	0.47	68.89	0.55	6.53	63.89	0.47	-6.06	64.24	-3.12	0.00	63.89	0.47	-6.06
B10	28.53	0.00	-0.19	26.84	0.03	-0.03	25.19	0.00	0.20	24.77	-0.00	0.19	26.42	-0.02	-0.06	28.07	-0.00	-0.30
B11	27.13	0.00	0.06	23.30	0.07	0.02	27.13	0.00	0.06	20.79	0.02	-0.03	24.63	-0.04	0.01	20.79	0.02	-0.03
B12	17.90	-0.05	0.09	12.94	-0.02	-0.00	17.66	-0.04	0.06	12.94	-0.02	-0.00	17.90	-0.05	0.09	13.30	-0.03	-0.06
B13	19.37	-0.00	0.03	15.20	0.01	0.04	14.18	0.00	0.05	14.18	0.00	0.05	18.35	-0.01	0.01	19.37	-0.00	0.03
B14	49.02	0.09	0.05	44.85	0.11	0.04	44.20	0.14	0.15	42.21	0.11	0.04	45.93	0.02	0.06	46.56	0.18	-0.06
B15	48.58	0.11	0.25	44.76	0.26	0.19	47.79	0.11	0.27	41.21	0.09	0.10	44.24	-0.06	0.18	43.21	0.09	0.10
B16	4.02	0.04	-0.01	4.02	0.04	-0.01	0.98	0.01	0.08	-1.59	-0.02	0.02	-1.59	-0.02	0.02	0.91	0.01	-0.07
B17	4.36	-0.05	0.09	4.35	0.00	-0.01	4.36	-0.05	0.09	3.00	-0.06	-0.09	3.04	-0.11	0.01	3.00	-0.06	-0.09
B18	6.20	0.01	0.03	6.09	0.01	0.03	4.06	-0.00	0.03	3.90	0.00	0.03	4.06	-0.00	0.03	6.09	0.01	0.03
B19	14.62	-0.02	0.03	14.21	0.00	0.01	14.39	-0.02	0.05	12.60	-0.02	-0.03	14.05	-0.04	0.01	12.60	-0.02	-0.03
B20	15.17	-0.04	-0.00	13.87	0.01	0.00	12.27	-0.02	0.04	11.84	0.01	0.01	12.92	-0.05	-0.00	14.51	-0.02	-0.04
B21	19.70	-0.02	-0.04	17.50	0.01	-0.04	19.36	-0.01	-0.04	17.50	0.01	-0.04	19.70	-0.02	-0.04	17.89	-0.01	-0.05
B22	15.18	0.02	-0.03	12.43	0.05	-0.00	6.01	0.00	0.05	5.54	0.01	0.05	8.59	-0.01	0.02	14.90	0.02	-0.03
B23	33.94	0.07	0.10	33.23	0.16	0.01	33.94	0.07	0.10	27.00	0.06	-0.05	27.83	-0.03	0.04	27.00	0.06	-0.05
B24	34.82	0.25	-0.01	34.16	0.26	-0.01	30.93	0.10	0.08	29.83	-0.05	0.03	30.60	-0.06	0.03	33.74	0.10	-0.06
B25	16.38	0.02	0.04	16.06	0.07	-0.02	16.38	0.02	0.04	9.45	0.00	-0.05	9.91	-0.04	0.01	9.45	0.00	-0.05

Fonte: Software TQS (2020).

A Figura 13 mostra as representações dos deslocamentos gerados pela carga aplicada na edificação, as imagens foram geradas pelo programa para cada pavimento: fundação, térreo, pavimento 2, pavimento 3 e pavimento 4 (cobertura).

Figura 13: Deslocamentos dos pavimentos.



Fonte: Software TQS (2020).

Na Figura 14 estão apresentadas as fôrmas, aço e volume de concreto da edificação original e da edificação após a simulação de acréscimo dos novos pavimentos.

Figura 14: Comparação entre projetos.

PROJETO ORIGINAL				
	VOL. CONC (m³)	ÁREA DE FORMA (m²)	PESO DO AÇO (kg)	
			CA50	CA60
PAVIMENTO FUNDAÇÃO	5,4	85,26	277,2	100,8
PAVIMENTO TÉRREO	15,23	258,99	1078,4	180,84
PAVIMENTO COBERTURA	11,18	209,11	675,9	116,6
PROJETO MODIFICADO				
	VOL. CONC (m³)	ÁREA DE FORMA (m²)	PESO DO AÇO (kg)	
			CA50	CA60
PAVIMENTO FUNDAÇÃO	3,97	60,1	310	65
PAVIMENTO TÉRREO	23,59	248,77	1992	224
PAVIMENTO 2	17,96	183,6	1153	146
PAVIMENTO 3	16,72	146,51	1461	110
PAVIMENTO 4	10,95	167,08	772	92

Fonte: Autora (2020).

No térreo teve-se um incremento de 54,89 % de concreto, de aço CA50 de 84,72 % e CA60 23,87 %. Enquanto no pavimento cobertura, novo pavimento 2, o concreto aumentou em 60,64 %, os aços CA50 de 70,59 % e CA60 de 25,21 %. Verificou-se ainda que nos pavimentos existentes, houve um aumento nas quantidades devido ao aumento da seção das vigas e pilares que para não sofrerem ruptura foram modificados. No pavimento fundação teve uma diminuição nos valores, porém haviam informações das fundações do projeto original nos cálculos.

Além disso, o TQS gera também informações referentes a momentos em x, momentos em y, esforços solicitantes, força em x, y e z, todas foram utilizadas para a realização do dimensionamento da edificação. Nos Apêndices de B a H constam os projetos de armaduras, lajes, vigas, pilares, todos os dimensionamentos e detalhamentos da estrutura com a adição dos pavimentos 3 e 4. A estrutura inicial foi replicada a partir do projeto fornecido, sendo adicionados na simulação os pavimentos superiores, que geraram as cargas e a necessidade de aumento das seções da viga 2 - pavimento térreo e pilares 15, 17 e 18.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em todo estudo realizado e análise das plantas da edificação e o posterior lançamento no programa TQS foi constatado que a edificação necessitará de reforços em seus elementos estruturais, para então, estar pronta para receber a carga dos novos pavimentos. Sendo assim, a solução estudada para correção dos erros graves ocorridos durante a realização

dessa análise foi pelo método convencional de demolição e reconstrução da viga e dos três pilares que sofreriam com a sobrecarga.

A estrutura não suportaria a carga provocada pelos novos pavimentos, conforme verificado pelo TQS na simulação, poderia então ocorrer cisalhamento, ruptura e ruína da biela em algumas vigas do térreo, não sendo possível o acréscimo dos novos pavimentos no projeto inicial. Com isso, seriam gerados problemas graves para a edificação e algumas das soluções que poderiam ser adotadas seriam o aumento da resistência do concreto, o aumento da seção ou então a mudança de projeto para aliviar a carga nesse elemento. Como o reforço, por meio de encamisamento, não era possível, pois a viga que necessitava de reforço estrutural fica sob uma parede de tijolos e os pilares seriam esbeltos, a opção estudada para esse projeto foi a demolição gradativa desses elementos, mediante escoramento para então a reconstrução total da seção.

Esse método convencional de demolição e reconstrução é amplamente utilizado quando não se deseja mudar a concepção arquitetônica da estrutura, já que além de aumento da seção ele permite que seja aumentada a resistência do concreto, elevando a capacidade de carga da estrutura e, assim, diminuir a seção. Dessa forma, se realizada da maneira correta, com escoramentos adequados para minimizar ao máximo os danos que podem ser gerados, não há problema com essa solução.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. **Rio de Janeiro**, março de 2003.

_____. **NBR 6123/1988**: Forças devidas ao vento em edificações. **Rio de Janeiro**, junho de 1988.

_____. **NBR 8681/2003**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. **Rio de Janeiro**, março de 2006.

_____. **NBR 14931/2004**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. **Rio de Janeiro**, abril de 2004.

_____. **NBR 15575/2006**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. **Rio de Janeiro**, maio de 2006.

BRASIL. **Lei nº 2.000, de 2016.** Institui o Plano diretor de Santa Tereza do Oeste. Plano Diretor. Santa Tereza do Oeste/PR, 2016.

COUTO, D.; ÁVILA, J.A.; BRITZ, C.; HELENE, P. **Como Reforçar Pilares em Concreto Armado, Sem Mudar a Sua Concepção Arquitetônica?** Belo Horizonte: outubro 2016.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto - 2ª edição.** São Paulo: Practisys Ltda, 1992.

HERINGER, A.S. **Análise de Custos e Viabilidade entre Drywall e Alvenaria Convencional.** 2015.

COURI JUNIOR, D. **Estruturas de Concreto Armado I – Aula VII – Carregamentos nas estruturas, 2016.** 16 slides. Disponível em: <<https://engdouglas.wordpress.com/est-de-concreto-armado-1/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

LEET, K.M.; UANG, C.; GILBERT, A. M. **Fundamentos da Análise Estrutural – 3ª edição.** São Paulo: 2010.

PAGNUSSATTI, D. **Análise da Estrutura de uma residência executada sem Projeto Estrutural em comparação com os resultados do dimensionamento da mesma de acordo com a NBR 6118:2003 – Estudo De Caso.** Santa Catarina: janeiro de 2011.

SANTOS, J.B. dos. **Análise da Influência da Rigidez das ligações viga-pilar no Comportamento Estrutural de Edifícios de Múltiplos Pavimentos em Concreto Armado.** Uberlândia: abril de 2016.

SMIDERLE, A.P. ALVES, L. **Dimensionamento Estrutural de um edifício Multifamiliar em concreto armado.** Rio de Janeiro: fevereiro de 2011.

SOTO, R.C. **Reforço e recuperação de vigas de concreto armado.** Goiânia: dezembro de 2013.

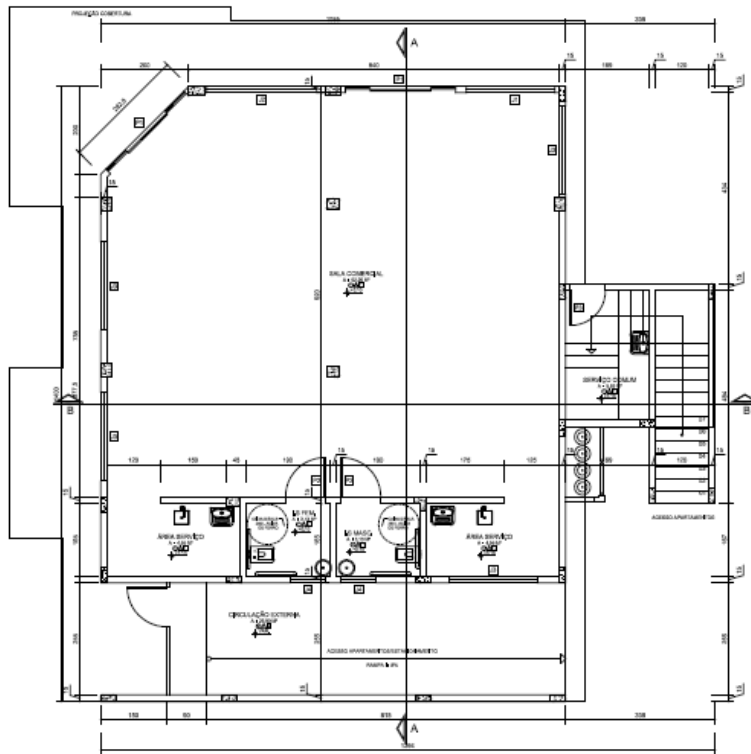
TAKEUTI, A. R. **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho.** São Carlos: 1999.

TQS. **Guia Rápido Inicial.** Disponível em: <www.tqs.com.br>. Acessado em abril de 2020.

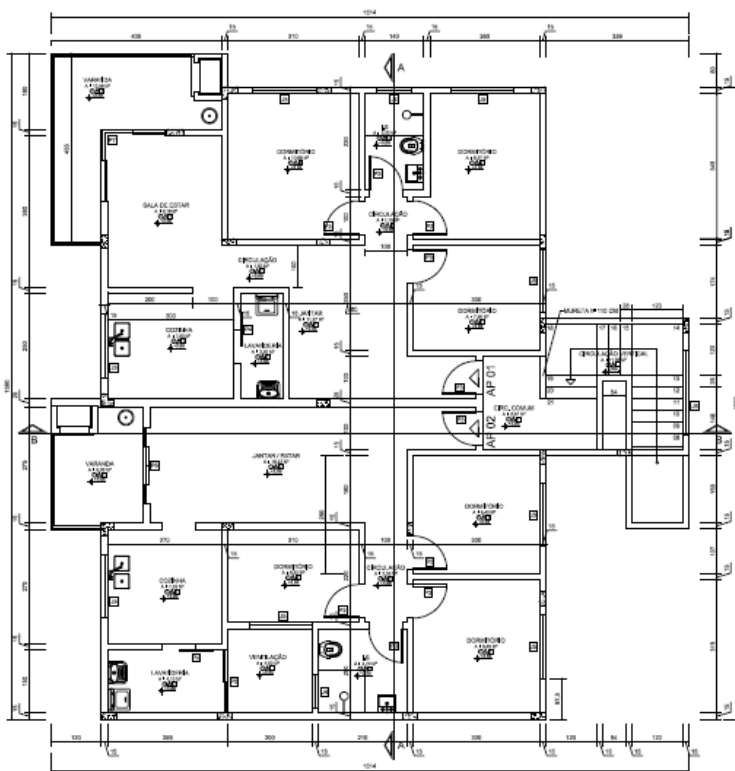
VITÓRIO, R.F. **Drywall peso por m², saiba quanto pesa parede de Drywall.** 2017. Disponível em: <<https://blogdodrywall.com.br/drywall-peso-por-m%C2%B2-quanto-pesa-parede-drywall/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

WORDELL, F. **Avaliação da Instabilidade Global de Edifícios Altos.** Porto Alegre: outubro de 2003.

(APÊNDICE A – PLANTAS BAIXAS FORNECIDAS PELA CONSTRUTORA)



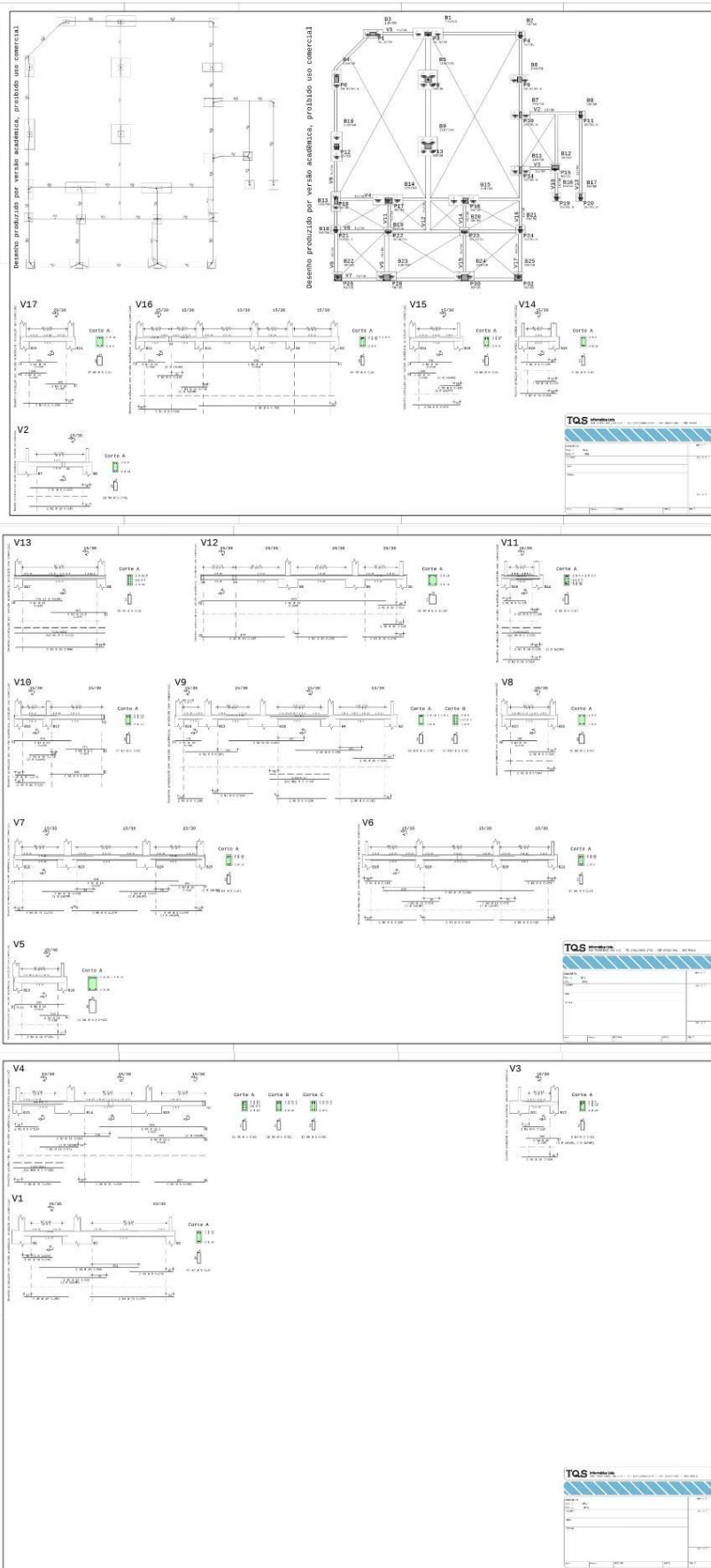
PLANTA BAIXA
PAV. TÉRREO
ESCALA 1:50



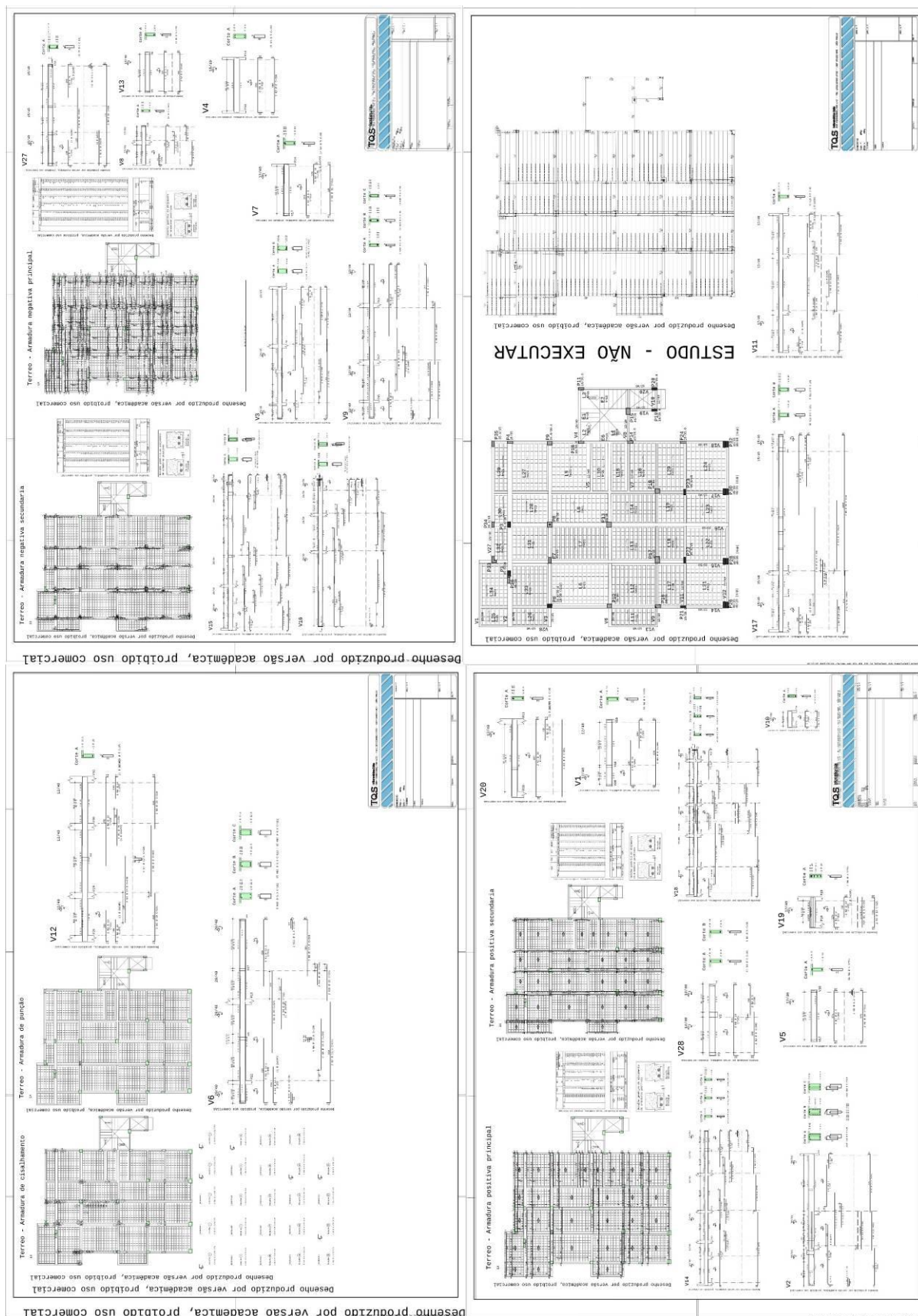
PLANTA BAIXA
PAV. SUPERIOR
ESCALA 1:50

(APÊNDICE B – FUNDAÇÃO)

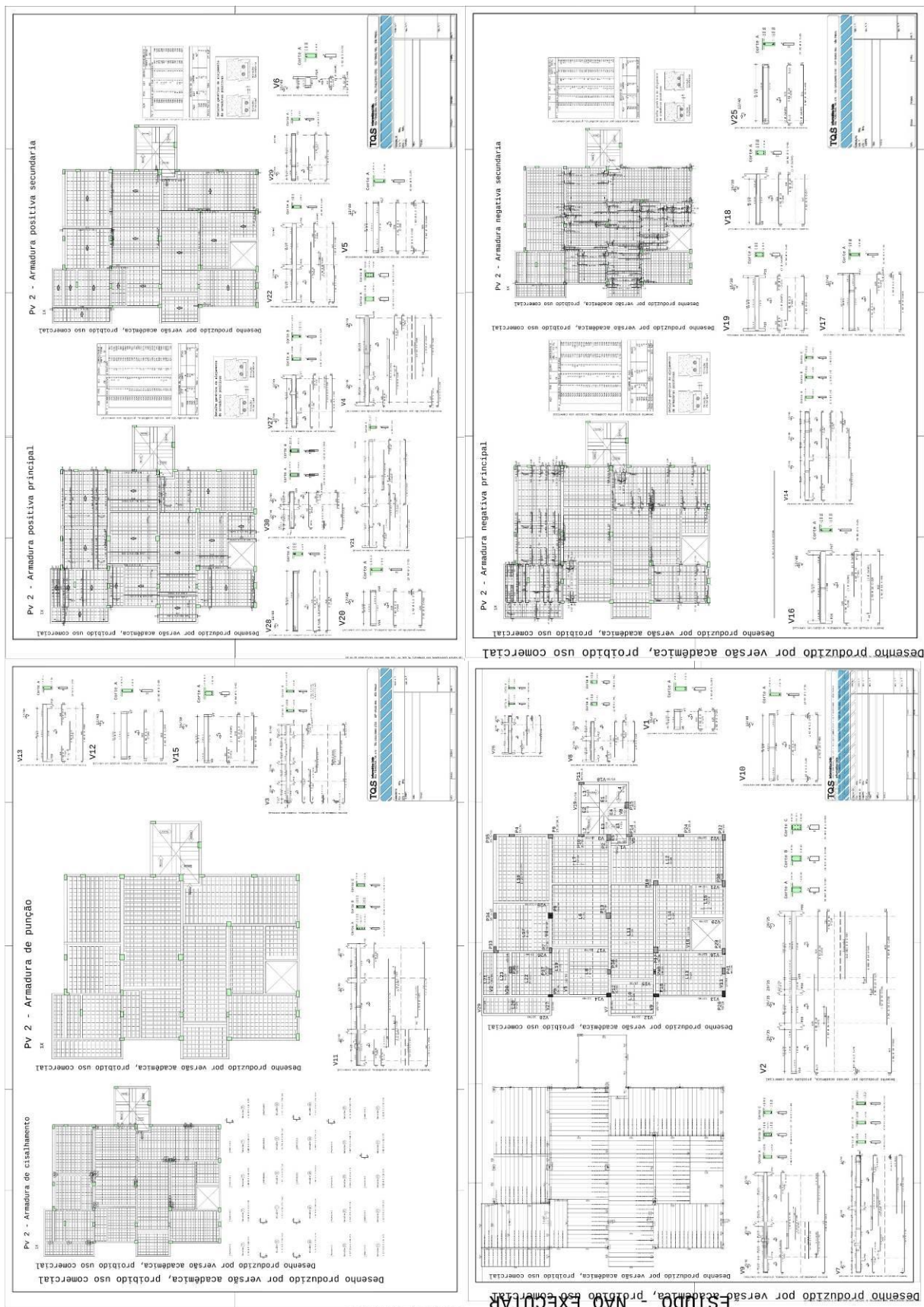
ESTUDO - NÃO EXECUTAR



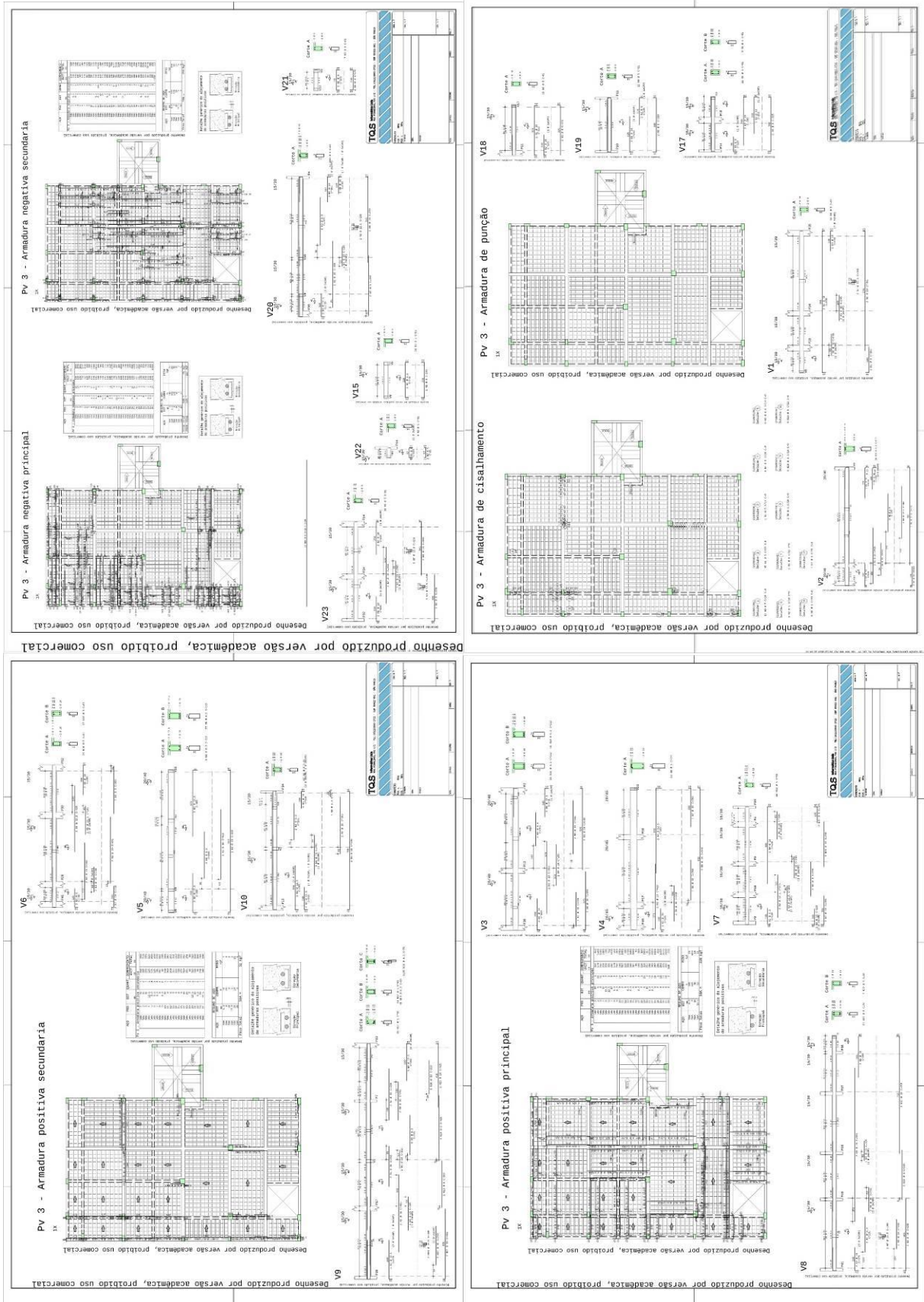
(APÊNDICE C – TÉRREO)



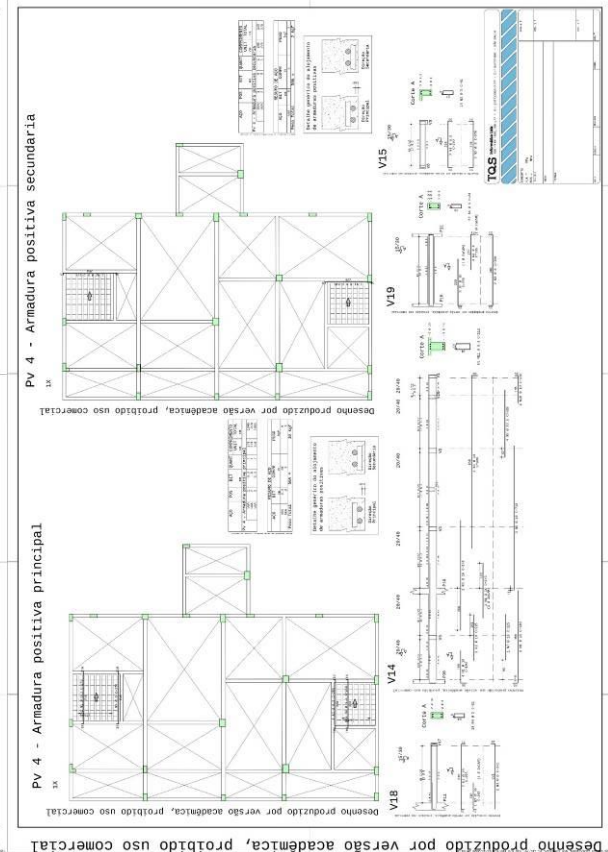
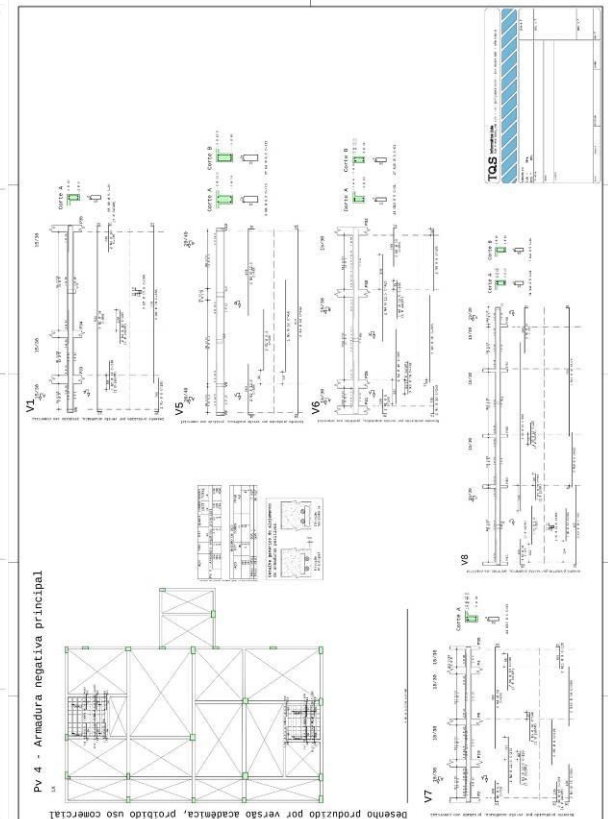
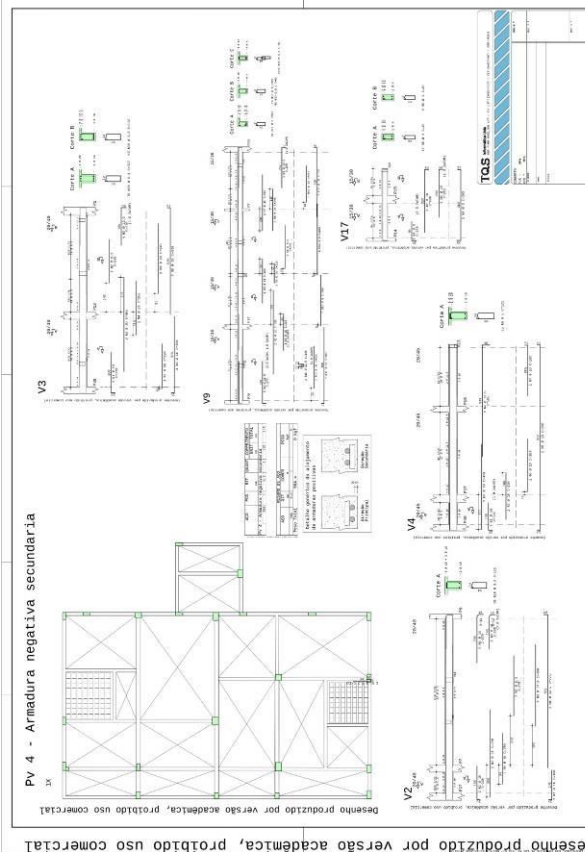
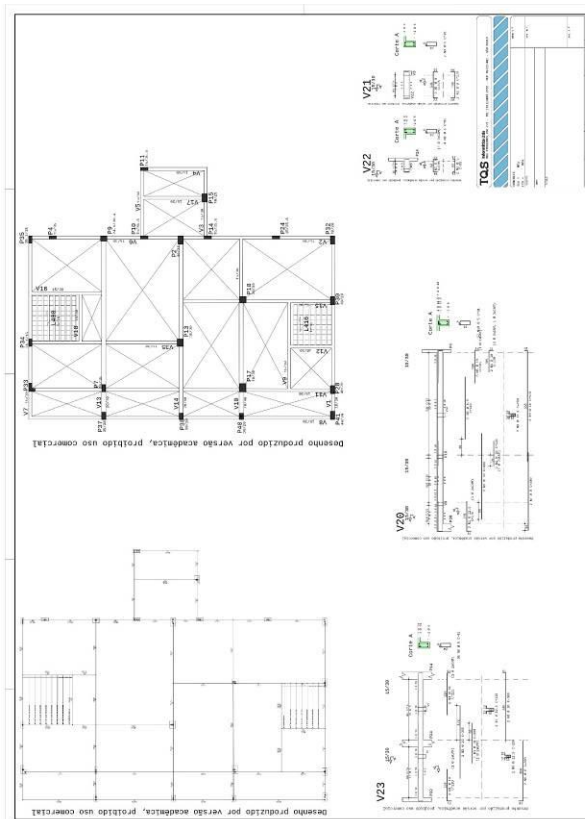
(APÊNDICE D – PAVIMENTO 2)



(APÊNDICE E – PAVIMENTO 3)



(APÊNDICE F – PAVIMENTO 4)



(APÊNDICE G – PAVIMENTO 4 E PILARES)



(APÊNDICE H – PILARES)

