

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

YAN FERREIRA LIMA PERIUS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS *SOFTWARES* TQS E ROBOT
STRUCTURAL ANALYSIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA EM
CONCRETO ARMADO DE DOIS PAVIMENTOS**

PONTA GROSSA

2024

YAN FERREIRA LIMA PERIUS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS *SOFTWARES* TQS E ROBOT
STRUCTURAL ANALYSIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA EM
CONCRETO ARMADO DE DOIS PAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção do título Bacharel em Engenharia Civil pela
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Luiz Schulz

PONTA GROSSA

2024

YAN FERREIRA LIMA PERIUS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS *SOFTWARES* TQS E ROBOT
STRUCTURAL ANALYSIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA EM
CONCRETO ARMADO DE DOIS PAVIMENTOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sérgio Luiz Schulz

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.^a Me. Fernanda Brekailo

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.^a Dr.^a Luciane Marcela Filizola de Oliveira

Departamento de Estruturas – Universidade Estadual de Londrina

Ponta Grossa, 01 de novembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, a qual me deu apoio para correr atrás dos meus sonhos e foram essenciais na minha vida durante o período da graduação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Luiz Schulz, o qual me acompanhou pela maior parte da graduação e foi essencial neste último período, proporcionando o conhecimento necessário para desenvolver este trabalho.

Às professoras Me. Fernanda Brekailo e Dr. Luciane Marcela Filizola de Oliveira por comporem a banca.

E por fim a Universidade Estadual De Ponta Grossa, a qual nos proporcionou acesso a docentes altamente qualificados, que foram essenciais para meu crescimento tanto profissional como pessoal.

RESUMO

No presente trabalho foi feito o dimensionamento em concreto armado de uma residência de dois pavimentos, através dos *softwares* TQS e Robot Structural Analysis. Como eles utilizam abordagens diferentes para realizar o levantamento dos esforços a que a estrutura e as suas seções estão submetidas, chegou-se a resultados diferentes entre si. De maneira geral, no Robot Structural os esforços de momento fletor nas vigas e reações nos pilares foram menores que no TQS, bem como o consumo de aço.

Palavras-chave: concreto. dimensionamento. *softwares*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plantas do projeto escolhido	15
Figura 2: Localização de implementação do projeto	15
Figura 3: Croqui estrutural do pavimento térreo	16
Figura 4: Croqui estrutural do pavimento superior	17
Figura 5: Croqui estrutural da cobertura.....	17

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes de Agressividade Ambiental	18
Quadro 2 : Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	19
Quadro 3: Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento nominal...	19
Quadro 4: Reações de apoio nas fundações	21
Quadro 5: Momento fletor máximo em vigas do térreo	22
Quadro 6: Momento fletor máximo em vigas do pavimento superior	23
Quadro 7: Momento fletor máximo em vigas da cobertura.....	24
Quadro 8: Consumo de aço total na edificação.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS.....	8
1.1.1 Objetivo geral.....	8
1.1.2 Objetivos específicos	8
1.2 JUSTIFICATIVA.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 CONCRETO ARMADO	10
2.2 MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL.....	10
2.3 ESFORÇOS E AÇÕES	11
2.4 TRABALHOS REALIZADOS NA ÁREA	12
3 PROJETO ESTRUTURAL	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS.....	27
APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO	29

1 INTRODUÇÃO

Quando se pensa na execução de uma edificação, são várias as etapas que compõem esse processo, desde as análises do terreno onde esta será executada até a etapa de acabamento. Esses processos são custosos, e, quando se fala da execução da estrutura, essa etapa representa uma boa parte do custo total da obra.

O dimensionamento estrutural atualmente é realizado em sua grande maioria através de *softwares* disponíveis no mercado, nos quais são realizados o lançamento estrutural e os carregamentos aos quais cada elemento está submetido, e estes realizam uma análise para que se chegue a uma descrição dos elementos de concreto armado de forma que estes suportem estes esforços.

Como estes *softwares* podem usar abordagens diferentes para realizar essa análise, é possível chegar em dimensionamentos diferentes para um mesmo elemento estrutural, como a diferença na quantidade de armaduras presentes em uma viga de concreto armado, por exemplo. Como a parte da estrutura representa uma grande parcela do custo total de uma obra, e existe a possibilidade de se obter diferentes dimensionamentos para um mesmo elemento, é possível relacionar isso a um maior custo final da estrutura de acordo com o *software* utilizado.

Com isto, este trabalho busca a partir de um mesmo projeto arquitetônico, realizar o dimensionamento estrutural em *softwares* distintos e observar a diferença de custo que isto pode acarretar, levando em consideração que os insumos da construção civil em sua maioria são de alto custo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar o dimensionamento nos *softwares* TQS e *Robot Structural Analysis* de uma mesma estrutura de concreto armado, referente a uma edificação residencial de 264 m² e dois pavimentos, e efetuar uma análise comparativa dos resultados.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) aprofundar o domínio do uso dos dois *softwares*;
- b) verificar o impacto causado pela adoção de diferentes abordagens no dimensionamento estrutural, no que concerne ao total de armadura.

1.2 JUSTIFICATIVA

Visto que os *softwares* podem utilizar de abordagens diferentes entre si para que seja feito o dimensionamento da estrutura de uma edificação, se faz necessário a análise de um modelo estrutural semelhante em diferentes *softwares* para que se identifique suas diferenças, as quais podem afetar a qualidade, tempo de execução e custo. O processamento dos dados obtidos permitirá identificar um dimensionamento que possua menor custo sem que este interfira na segurança e conforto proposto pelo projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um elemento composto pela união do concreto e aço, elementos distintos que quando unidos trabalham em conjunto para que resistam a esforços solicitantes. O concreto é responsável por resistir aos esforços de compressão, e o aço é o responsável por resistir aos esforços de tração e em algumas situações aos esforços de compressão também.

A principal característica do concreto seria a sua resistência à compressão, sendo que a resistência a outros esforços normalmente é calculada em função da sua resistência a compressão. As resistências estão associadas diretamente à idade em dias, onde o concreto convencional atinge sua resistência de projeto normalmente ao fim de um período de 28 dias (Carvalho; Figueiredo Filho, 2021).

Outro ponto importante para o dimensionamento de estruturas é a análise de deformações às quais os elementos estarão sujeitos. Para isso é necessário o estudo do módulo de elasticidade do concreto, que segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2021), é uma grandeza característica mecânica que mensura a rigidez de um material sólido e pode ser obtido através do gráfico de tensão x deformação, obtidos através de ensaios de resistência à compressão.

Já quando se fala sobre o aço, suas características fundamentais para o dimensionamento de estruturas são a resistência de escoamento, resistência máxima e alongamento. A resistência de escoamento é o máximo esforço ao qual o aço pode ser submetido mantendo-se em regime elástico; a resistência máxima é o esforço que causa a ruptura do aço quando solicitado; e o alongamento é a deformação sofrida pelo aço ao ser submetido a esforços de tração.

2.2 MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

De acordo com Martha (2010, p. 1), a análise estrutural trata da etapa em que idealizamos o projeto, podendo analisar então todos os esforços aos quais a estrutura estará submetida, verificando tensões, deformações e deslocamentos, de forma que seja possível prever o comportamento de uma estrutura real.

Segundo Kimura (2018, p. 78-87) a análise estrutural realizada de forma computacional pode utilizar modelos estruturais diferentes adotados por cada

software, os quais buscam representar o mais fielmente o comportamento da estrutura real. Alguns dos modelos estruturais existentes são:

- a) métodos aproximados + vigas contínuas;
- b) viga + pilares (pórtico H)
- c) grelha somente de vigas;
- d) grelhas de vigas e lajes;
- e) pórtico plano;
- f) pórtico espacial;
- g) elementos finitos.

Dentre os modelos mais utilizados podemos citar o de grelhas de vigas + lajes e pórtico espacial. Apesar disto, é possível encontrar vários *softwares* atualmente que utilizam do modelo de elementos finitos, que de acordo com Kimura (2018, p. 95), traz um comportamento mais próximo da realidade da estrutura idealizada, porém tem suas particularidades.

O modelo de grelhas pode-se definir como a representação dos elementos estruturais por elementos retilíneos unidos entre si, onde suas junções são definidas como nós; cada nó possui três graus de liberdade, uma translação e duas rotações. Já no modelo de pórtico espacial, cada nó das barras tem seis graus de liberdade, onde três são referentes a translações e três referentes a rotações (Kassimali, 2021).

No modelo de elementos finitos, um elemento é subdividido em diversos elementos menores, unidos por nós cujos deslocamentos são descritos por um conjunto de equações diferenciais. Esta discretização acaba por trazer uma representação bem aproximada da realidade do comportamento do elemento estrutural.

2.3 ESFORÇOS E AÇÕES

Uma estrutura pode ser definida como um conjunto de elementos interligados entre si, os quais são capazes de receber solicitações externas e transmiti-las a seus vínculos, pontos esses que são locais onde encontramos as forças reativas, mantendo o sistema em equilíbrio.

São várias as causas de esforços, desde esforços solicitantes devidos a sua própria existência, como peso próprio, até mesmo a esforços gerados pelo vento, os quais são influenciados por exemplo pelo porte da obra, localização e formato. As solicitações geradas pelo vento atualmente são definidas através da Norma ABNT

NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 2023), a qual traz um detalhamento para que se possa caracterizar a estrutura e o impacto gerado pelo vento na mesma.

Segundo Almeida (2009), o objetivo do engenheiro civil é garantir, por meio do cálculo estrutural, que os esforços resistentes internos sejam maiores que os esforços solicitantes internos, permitindo assim a estabilidade da estrutura e sua existência a longo prazo.

Para que esses esforços sejam determinados com precisão, é necessário que sejam analisados os variados fatores do projeto, como porte, localização, formato, tipo de estrutura, uso da edificação, materiais de revestimento, etc. Através das normas NBR 6118 (ABNT, 2023), NBR 6120 (ABNT, 2019) e NBR 6122 (ABNT, 2023), é possível definir a maioria dos esforços solicitantes de uma estrutura.

2.4 TRABALHOS REALIZADOS NA ÁREA

A existência de diversos *softwares* pode deixar um possível usuário em dúvida sobre qual o melhor a ser utilizado, pois estes variam bastante, seja por interface do programa, facilidade de utilização, ou abordagem utilizada para realização dos dimensionamentos.

De acordo com Bara e Scheidt (2021), o programa TQS utiliza o modelo de grelha para realizar as análises das lajes uma por uma, e o modelo de pórtico espacial para a análise da estrutura como um todo. Já o *software* CypeCAD utiliza do modelo de elementos finitos para realizar a análise de esforços e deslocamentos da estrutura. As autoras ao submeterem um mesmo projeto em ambos os *softwares*, verificaram que no dimensionamento realizado pelo TQS, o consumo total de aço na estrutura do edifício era maior.

Já Sabadin (2018, p. 137), afirma que o TQS apesar de possuir uma interface mais confortável de ser utilizada, muitas vezes pode trazer resultados os quais merecem uma maior atenção ao serem analisados. Ao comparar com o *software Robot Structural Analysis*, o qual usa o método de elementos finitos para realizar suas análises, foi possível observar resultados semelhantes. Porém em um dos pilares do projeto utilizado, enquanto o TQS apresentava esforços de tração no elemento, o *Robot* apresentava esforços de compressão.

Sabadin (2018) optou por realizar o trabalho sobre um modelo arquitetônico que foi elaborado somente para o desenvolvimento do seu trabalho, sendo um edifício

de quatro pavimentos tipo, onde lajes e vigas se repetem em dimensões em todos os pavimentos, e também ressalta que em um dos eixos o pavimento tinha maior dimensão, com a intenção de amplificar a solicitação gerada pelo vento.

Souza e Cunha (2021, p. 32), mostram que num comparativo entre TQS e o *software* Eberick, apesar de ambos usarem o método de pórtico espacial em suas análises, o TQS sugeriu uma quantidade de aço total maior para a execução da estrutura. O projeto arquitetônico utilizado por Souza e Cunha (2021) foi de um edifício de pequeno residencial de pequeno porte, composto pelo pavimento térreo e mais dois pavimentos tipos, e cada pavimento continha três apartamentos cada. Sua estrutura é toda feita em concreto armado, sendo composto por lajes maciças apoiadas em vigas, que se apoiam em pilares. Para o fechamento da edificação foi optado por alvenaria de cutelo e reboco tradicional.

Antonechen (2023) ao realizar o projeto estrutural de uma residência unifamiliar de dois pavimentos, tendo 176,76 m² de área total construída, fez um comparativo entre o consumo de materiais sugeridos pelos *softwares* Eberick e TQS. Observou-se que enquanto o Eberick sugeria o aumento das dimensões dos elementos estruturais para lidar com as solicitações, o TQS sugeria o aumento de uso de aço nos elementos.

Faria e Quadros (2022), ao realizar o lançamento estrutural de uma edificação de apenas um pavimento, porém de grandes dimensões em planta, a ser implementada na Universidade Estadual de Ponta Grossa, efetuaram um comparativo entre as solicitações nos elementos estruturais fornecidas pelos *softwares* Eberick e *Robot*. Apesar do comportamento no geral ser praticamente igual, observou-se que para solicitações de torção, os valores encontrados pelo Eberick são em sua totalidade maiores que os encontrados pelo *Robot*.

3 PROJETO ESTRUTURAL

Diante do exposto, optou-se por trabalhar com dois *softwares* diferentes, os quais têm funcionamento adequado à ABNT NBR 6118 – Projeto de estruturas em concreto (ABNT, 2023). Os *softwares* a serem utilizados são o TQS e *Robot Structural Analysis*, sendo os dois comumente utilizados para elaboração de projetos estruturais, e, o *Robot* tendo passado a atender a NBR 6118 recentemente, no ano de 2022. Ambas as versões utilizadas dos programas estavam de acordo com a atualização da norma de 2023.

Dentro desses *softwares* foram realizados os lançamentos estruturais a partir de um mesmo projeto arquitetônico, definindo informações como classe de agressividade ambiental e velocidade do vento, pois estes parâmetros interferem diretamente nos esforços que solicitaram a estrutura e o detalhamento dos diversos elementos no projeto estrutural.

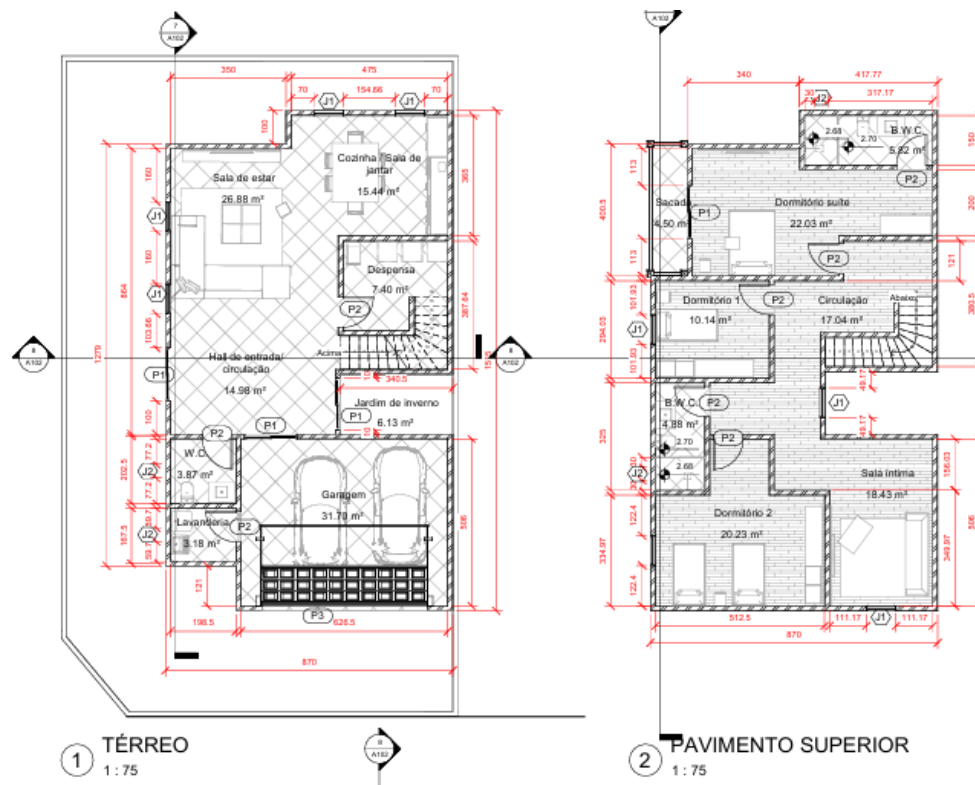
Os itens que foram abordados para realizar a comparação entre as análises de cada *software* são os esforços solicitantes dos elementos estruturais e a área de aço adotada no dimensionamento do elemento. São itens que os *softwares* disponibilizaram após realizar uma análise diante do lançamento estrutural e carregamento dos elementos estruturais.

Estes dados foram organizados e analisados, trazendo diferenças entre si, como no consumo de aço para a execução das armaduras do projeto e nos esforços que estão solicitando cada elemento da estrutura.

Para o projeto arquitetônico utilizado, optou-se pelo uso de um desenvolvido durante o 3ª Série na Disciplina de Projeto de Edificação I, referente a uma residência de alto padrão. Esta residência possui dois andares com uma área próxima de 132 m² cada. Na Figura 1 é possível visualizar as plantas do térreo e do pavimento superior da edificação.

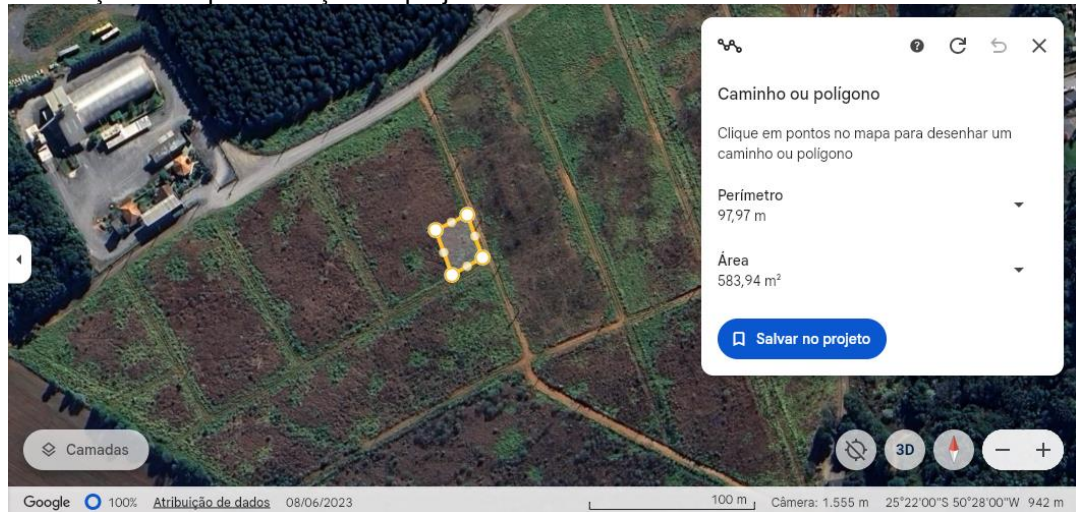
Para efeitos de dimensionamento, o terreno escolhido está localizado na cidade de Teixeira Soares (PR), mais especificamente no Loteamento Jardim Europa, S/N, área que apresenta uma elevação considerável quando comparada as demais localidades da cidade. Na Figura 2 é possível visualizar a representação deste terreno retirada da ferramenta Google Earth.

Figura 1: Plantas do projeto escolhido



Fonte: O autor

Figura 2: Localização de implementação do projeto

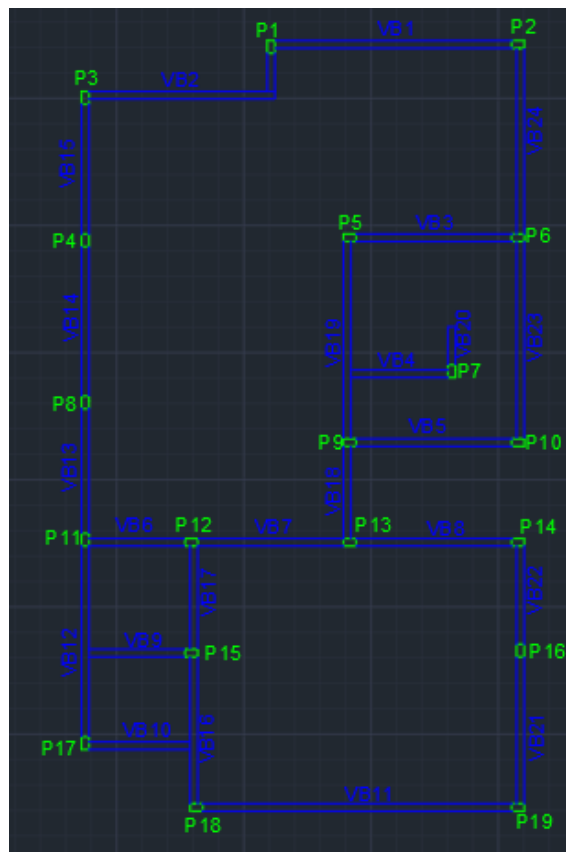


Fonte: O autor

O projeto arquitetônico escolhido possui alguns pontos que mereceram atenção, como a espessura constante de todas as paredes de 15 centímetros sem a possibilidade de que os pilares fiquem aparentes; a região de um dos dormitórios do pavimento superior, requer o uso de viga apoiada sobre viga para que se tenha um vazio no pavimento térreo de acordo com o projeto arquitetônico; e a diferença entre a localização das paredes entre os dois pavimentos, que impede a locação de paredes sobre vigas principalmente no pavimento superior.

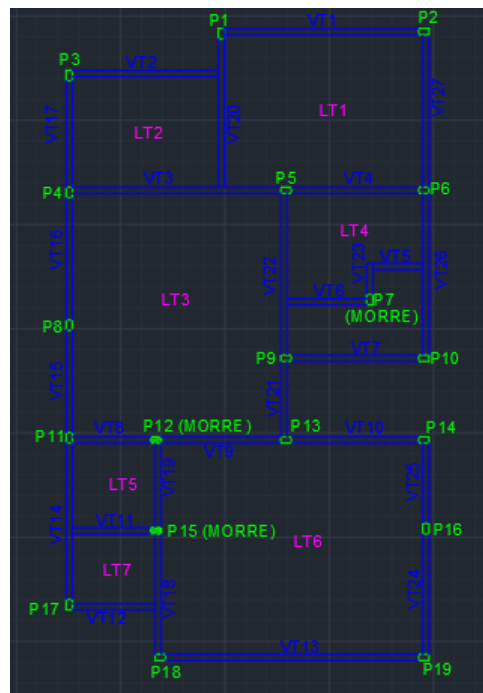
O primeiro passo realizado foi a elaboração de um croqui de lançamento estrutural, o qual foi utilizado como base para lançamento em ambos os *softwares*, definindo assim a localização de cada elemento estrutural, como é possível visualizar na Figura 3, Figura 4 e Figura 5.

Figura 3: Croqui estrutural do pavimento térreo



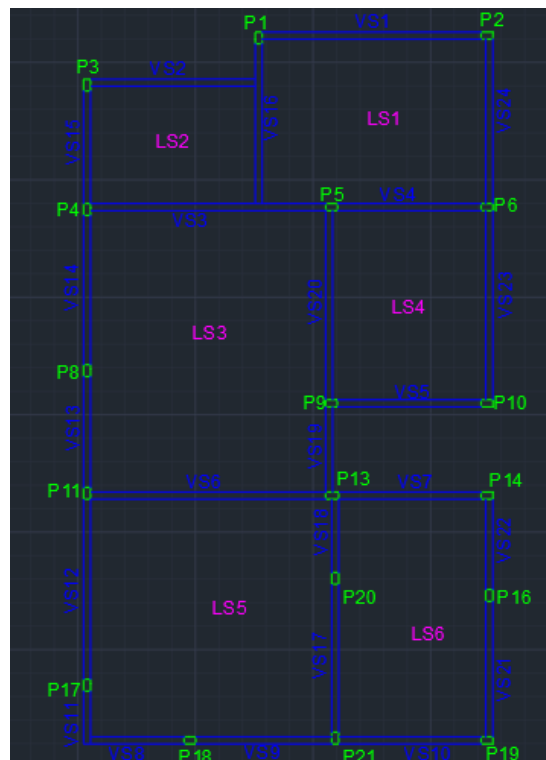
Fonte: O autor

Figura 4: Croqui estrutural do pavimento superior



Fonte: O autor

Figura 5: Croqui estrutural da cobertura



Fonte: O autor

É possível verificar que devido a limitações da arquitetura do projeto, há pilares que não têm continuidade para o pavimento superior, como é o caso dos pilares P12 e P15. Dado isto também se viu necessário o nascimento de pilares no pavimento superior para uma melhor definição e funcionamento da estrutura, como é possível observar nos pilares P20 e P21. Cada elemento estrutural foi analisado de forma a definir seus vínculos (apoio ou engaste) aos demais elementos.

Para a realização do lançamento em cada um dos *softwares*, foi necessário definir alguns parâmetros que são característicos do projeto. Como citado anteriormente, o local escolhido para fins de dimensionamento foi um terreno localizado na região rural da cidade de Teixeira Soares, informação que permite definir a Classe de Agressividade a ser adotada no projeto como Classe I, como pode-se ver no Quadro 1.

Quadro 1: Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinho ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: Adaptado da Tabela 6.1 da ABNT 6118 (2023, p. 17)

Na sequência, definiu-se então a qualidade do concreto a ser utilizada no projeto e também os cobrimentos nominais a serem utilizados nos elementos estruturais a partir das especificações da NBR 6118 (2023), constantes no Quadro 2 e Quadro 3.

Quadro 2 : Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento	Concreto armado	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	Concreto protendido	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto	Concreto armado	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	Concreto protendido	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: Adaptado da Tabela 7.1 da ABNT 6118 (2023, p. 18)

Quadro 3: Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: Adaptado da Tabela 7.2 da ABNT 6118 (2023, p. 20)

Ficou então definido a qualidade do concreto a ser utilizado como C20 e os cobrimentos nominais de 2 cm para lajes e 2,5 cm para pilares e vigas. Por seguinte foram definidas algumas dimensões a serem adotadas pelos programas no dimensionamento: para as lajes foi definido que todas elas teriam espessuras constantes de 12 cm, todas sendo lajes maciças; para pilares foi definido seção padrão de 15x50 cm; e para vigas a seção adotada foi de 15x40cm. A definição de uma seção genérica para todos os elementos visa facilitar a identificação das diferenças apresentadas ao final por cada *software*. Ambos os programas recomendaram o aumento da menor dimensão das seções dos pilares (indesejado devido à prioridade de manter as características do projeto), mas realizaram o

processamento da estrutura, porém penalizando estes pilares, como indica o item 13.2.3 da NBR 6118 (2023).

Em seguida foram definidos os dados relacionados à força exercida pelo vento de acordo com a NBR 6123 (ABNT, 2023). Foi definida a velocidade básica de 42 m/s, com incidência de 0°, 90°, 180° e 270° em relação à estrutura. A estrutura se enquadra como Classe A no que se refere à classificação de dimensão, sendo sua maior dimensão abaixo de 20 m. Para o fator de rugosidade do terreno, definiu-se este como Categoria II, referente a terrenos abertos em nível, e com pouco obstáculos ao redor. Através da definição destes dados, ambos os programas são capazes de calcular a força exercida pelo vento nos elementos estruturais.

Como vedação vertical, definiu-se que todas as paredes seriam realizadas em blocos cerâmicos convencionais com 14 centímetros de espessura, com revestimento de 0,5 centímetros nas duas faces, trazendo uma carga de 1,3 kN/m². Para as lajes optou-se que teriam revestimento na face inferior. Para o piso optou-se pelo uso de porcelanato em toda a edificação. Para a cobertura optou-se para estrutura de apoio para o telhado realizado em madeira e telhas de fibrocimento. Todos esses elementos que foram definidos foram utilizados para o cálculo do carregamento da estrutura, de acordo com o apresentado na NBR 6120 (2019). O local definido a receber a carga da caixa d'água foi a laje LS4 da cobertura, conforme a Figura 5, sendo que a carga aplicada foi referente a uma caixa d'água de 1000 litros, a qual foi distribuída uniformemente sobre a laje. Foi definido também a sobrecarga da estrutura, sendo a de 1,5 kN/m², que refere ao uso de um edifício residencial.

Definidos todos esses parâmetros, foi realizado o lançamento da estrutura em ambos os *softwares*, sendo que a análise realizada pelo *Robot* ocorre pelo método de elementos finitos e no TQS, onde tem-se a opção de escolher o método, optou-se pela abordagem de pórtico espacial composto por elementos que simulam pilares, vigas e lajes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os dados obtidos após o lançamento em cada *software*. Entre eles tem-se as reações dos pilares nas fundações, o momento fletor de maior módulo em cada viga e o consumo de aço total por pavimento, todos presentes nos Quadro 4 a Quadro 8.

Quadro 4: Reações de apoio nas fundações

	TQS	ROBOT	
PILAR	REAÇÃO (tf)		DIFERENÇA
P1	7,33	6,89	6,00%
P2	9,27	9,12	1,62%
P3	10,04	9,38	6,57%
P4	11,79	9,65	18,15%
P5	18,02	15,88	11,88%
P6	15,8	14,01	11,33%
P7	5,12	5,26	-2,73%
P8	8,56	8,21	4,09%
P9	13,07	11,24	14,00%
P10	12,67	10,99	13,26%
P11	11,52	8,91	22,66%
P12	7,21	7,17	0,55%
P13	7,18	10,81	-50,56%
P14	6,82	6,23	8,65%
P15	7,9	6,99	11,52%
P16	8,73	8,52	2,41%
P17	7,97	6,02	24,47%
P18	8,21	8,19	0,24%
P19	9,78	8,51	12,99%

Fonte: O autor

No Quadro 4 é possível observar que no geral o TQS apresentou reações maiores dos que apresentado pelo *Robot*, possivelmente implicando que o modelo de análise de pórtico espacial apresente solicitações maiores se comparadas ao modelo de elementos finitos. Vale notar que dos 19 pilares conectados à fundação, somente em 2 casos o *Robot* apresentou reações maiores quando comparadas ao TQS, sendo nos pilares P7 e P13, onde no P13 essa diferença foi significativa. Os cálculos das diferenças percentuais da última coluna são relativos aos resultados do TQS.

No Quadro 5 é possível notar que o TQS traz solicitações maiores para os elementos estruturais analisados, sendo que neste pavimento a média de variação é

de aproximadamente 11% a mais em relação ao *Robot*. Nas vigas baldrame de menor comprimento essas diferenças se observam reduzidas, sendo que nas vigas VB6, VB9 e VB10 ambos os *softwares* apresentaram o mesmo momento fletor máximo.

Quadro 5: Momento fletor máximo em vigas do térreo

PAVIMENTO TERREO			
	MOMENTO FLETOR (tf.m)		
VIGA	TQS	ROBOT	DIFERENÇA
VB1	2,43	2,01	17,28%
VB2	2,26	1,79	20,80%
VB3	1,96	1,53	21,94%
VB4	1,29	1,27	1,55%
VB5	1,96	1,53	21,94%
VB6	1,32	1,32	0,00%
VB7	1,79	1,75	2,23%
VB8	1,82	1,81	0,55%
VB9	1,32	1,32	0,00%
VB10	1,32	1,32	0,00%
VB11	3,21	2,98	7,17%
VB12	2,29	1,98	13,54%
VB13	2,01	1,73	13,93%
VB14	2,22	1,89	14,86%
VB15	2,13	1,82	14,55%
VB16	2,01	1,79	10,95%
VB17	1,86	1,7	8,60%
VB18	1,62	1,58	2,47%
VB19	2,45	2	18,37%
VB20	0,98	0,86	12,24%
VB21	2	1,73	13,50%
VB22	1,91	1,75	8,38%
VB23	2,45	2	18,37%
VB24	2,46	2,04	17,07%

Fonte: O autor

Nas vigas do pavimento superior novamente se observa uma tendência do TQS apresentar maiores solicitações, como pode-se ver no Quadro 6; porém nota-se que ocorreram duas vigas, VT9 e VT21, em que o *Robot* apresentou solicitações maiores e com uma diferença significativa, e ambas as vigas estão vinculadas ao P13, que como visto anteriormente apresentou uma reação mais elevada pelo *Robot*. Neste

pavimento é possível notar também a maior solicitação que se dá na viga VT13, pois é nesta que ocorre o maior vão do projeto, e também suporta o pilar P21.

Quadro 6: Momento fletor máximo em vigas do pavimento superior

PAVIMENTO SUPERIOR			
	MOMENTO FLETOR (tf.m)		
VIGA	TQS	ROBOT	DIFERENÇA
VT1	6,78	6,26	7,67%
VT2	6,22	6,14	1,29%
VT3	7,55	6,81	9,80%
VT4	6,41	6,27	2,18%
VT5	2,95	2,63	10,85%
VT6	2,99	2,79	6,69%
VT7	1,96	1,53	21,94%
VT8	2,32	2,2	5,17%
VT9	6,29	8,91	-41,65%
VT10	5,12	5,1	0,39%
VT11	2,5	2,43	2,80%
VT12	2,31	2,26	2,16%
VT13	14,01	12,48	10,92%
VT14	7,98	7	12,28%
VT15	4,3	4,15	3,49%
VT16	4,36	4,3	1,38%
VT17	6,18	6,18	0,00%
VT18	7,01	6,93	1,14%
VT19	3,98	3,67	7,79%
VT20	8	7,89	1,38%
VT21	3,21	3,87	-20,56%
VT22	6,89	6,12	11,18%
VT23	2,01	1,67	16,92%
VT24	4,55	4,12	9,45%
VT25	4,03	3,51	12,90%
VT26	7,45	7,38	0,94%
VT27	5,03	4,38	12,92%

Fonte: O autor

No Quadro 7 volta-se a verificar maiores solicitações fornecidas pelo *software* TQS, porém, nas vigas VS7, VS8 e VS18 o *Robot* apresentou solicitações levemente superiores. A maior diferença entre solicitações observada neste pavimento foi na viga VS5, a qual esta vinculada à laje LS4, que suporta a caixa d'água da edificação.

Quadro 7: Momento fletor máximo em vigas da cobertura

COBERTURA			
	MOMENTO FLETOR (tf.m)		
VIGA	TQS	ROBOT	DIFERENÇA
VS1	3,7	3,36	9,19%
VS2	3,53	3,14	11,05%
VS3	3,23	2,88	10,84%
VS4	5,2	5,12	1,54%
VS5	4,89	4,27	12,68%
VS6	2,59	2,59	0,00%
VS7	3,06	3,1	-1,31%
VS8	3,09	3,16	-2,27%
VS9	2,59	2,51	3,09%
VS10	2,59	2,48	4,25%
VS11	4,48	4,33	3,35%
VS12	3,56	3,33	6,46%
VS13	3,28	3,08	6,10%
VS14	3,49	3,24	7,16%
VS15	3,4	3,17	6,76%
VS16	3,28	3,14	4,27%
VS17	3,13	3,05	2,56%
VS18	2,89	2,93	-1,38%
VS19	3,72	3,35	9,95%
VS20	5,73	5,72	0,17%
VS21	3,27	3,08	5,81%
VS22	3,18	3,1	2,52%
VS23	4,01	3,92	2,24%
VS24	3,73	3,39	9,12%

Fonte: O autor

No Quadro 8 pode-se observar que em relação ao consumo total de aço no presente projeto, o TQS tende a sugerir uma maior quantidade, principalmente nas lajes; já o *Robot* possui uma tendência de majorar a quantidade de aço nos pilares, onde mesmo o TQS sugerindo maior uso de aço para barras longitudinais, o *Robot* acaba por superar o uso de aço nestes elementos estruturais ao sugerir um espaçamento bem menor entre os estribos.

Quadro 8: Consumo de aço total na edificação

CONSUMO DE AÇO (kgf)			
	TQS	ROBOT	DIFERENÇA
PILARES	913,5	1036,82	-13,50%
VIGAS	1456	1400,67	3,80%
LAJES	1865,13	1473,45	21,00%
TOTAL	4234,63	3910,95	7,64%

Fonte: O autor

No geral observa-se que os resultados obtidos são semelhantes aos apresentados nos trabalhos anteriores que tratam destes dois *softwares*, onde o *Robot* apresenta solicitações e uso de aço inferior aos apresentados pelo TQS. Isto pode ser fruto tanto do impacto gerado pelos diferentes modelos utilizados, como também pela forma que cada *software* interpreta ser a melhor solução de estrutura para resistir as solicitações. Até mesmo em situações de elementos que apresentaram solicitações iguais em ambos os *softwares*, notou-se que o TQS apresentava um uso de aço maior neste elemento, indicando que além de diferir no modelo utilizado, também diferem entre si nos parâmetros de projeto.

Quanto à experiência de usuário, no TQS percebe-se uma interface mais intuitiva, apresentando quadros e textos que explicam cada parâmetro e dado a ser atribuído durante o lançamento no *software*. No *Robot*, apesar desta interface ser bem menos explicativa, o seu *layout* e disposição de atalhos na tela fazem com que o usuário, a partir do momento que se habitua, tenha uma eficiência muito maior na questão de tempo para realizar o lançamento dos dados necessários para o processamento da estrutura.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o dimensionamento estrutural em concreto armado de uma residência de dois pavimentos de alto padrão, através de dois diferentes *softwares* amplamente utilizados para este fim: TQS e *Robot Structural Analysis*. Estes programas utilizam de métodos de análise estrutural diferentes entre si, e este trabalho procurou aprofundar o conhecimento em relação a estes métodos e analisar as possíveis diferenças que eles podem apresentar ao verificar o comportamento de uma mesma estrutura sob a influência dos mesmos esforços. Para que este trabalho fosse executado, foi necessário utilizar dos conhecimentos adquiridos no decorrer da graduação, principalmente os obtidos nas disciplinas de Mecânica Estrutural de Concreto Armado.

Percebeu-se que apesar de ambos os *softwares* utilizados atenderem às normas que tratam de estruturas de concreto armado, suas diferentes abordagens para tratar uma estrutura podem trazer diferenças significativas, que podem causar impactos diversos, como tempo de execução do projeto até custo devido a um maior investimento em insumos. Os elementos estruturais foram lançados com as mesmas dimensões em ambos os *softwares*, o que permitiu comparar de maneira mais direta as variações de esforços e de consumo de aço encontradas.

Notou-se que não só referente aos modelos utilizado, cada *software* pode ter outros fatores que podem impactar na solução final apresentado para a estrutura, seja uso de coeficientes de segurança diferentes, ou, interpretações diferentes para resistir a esforços semelhantes.

Todo o estudo realizado permitiu ao autor crescimento pessoal nas áreas que este trabalho abrange, trazendo maior segurança para este poder atuar em projetos futuros que tratem de dimensionamento estrutural.

Conclui-se por fim que os objetivos deste trabalho foram alcançados, e fica como sugestão para um próximo estudo utilizar de *softwares* de dimensionamento estrutural disponíveis no mercado e realizar uma análise comparativa do detalhamento dos elementos estruturais que estes realizam, pensando no possível impacto que isto pode trazer principalmente no cronograma de execução de um projeto devido à clareza e complexidade à no detalhamento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. F. **Estruturas Isostáticas**. Edição Digital. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

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 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. São Paulo. 2023.

ANTONECHEN, J. L. O. **Projeto estrutural de edificação residencial de dois pavimentos em concreto armado**: comparação do consumo de materiais utilizando os *softwares* TQS e o Eberick. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2023.

BARA, H. R.; SCHEIDT, I. J. **Projeto estrutural de um centro de reagentes e resíduos químicos: comparação entre softwares comerciais de dimensionamento de concreto armado**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2021.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, R. D. **Calculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2021.

FARIA, E. L.; QUADROS, G. S. **Projeto estrutural de edifício de pequeno porte**: comparativo de solicitações obtidas pelos *softwares* Eberick e *Robot Structural Analysis Professional*, e detalhamento conforme a ABNT NBR 6118:2014 utilizando o Eberick. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2022.

KASSIMALI, A. **Matrix analisys of structures**: SI Edition. 3rd. ed. Boston, Massachusetts: Cencage, 2021.

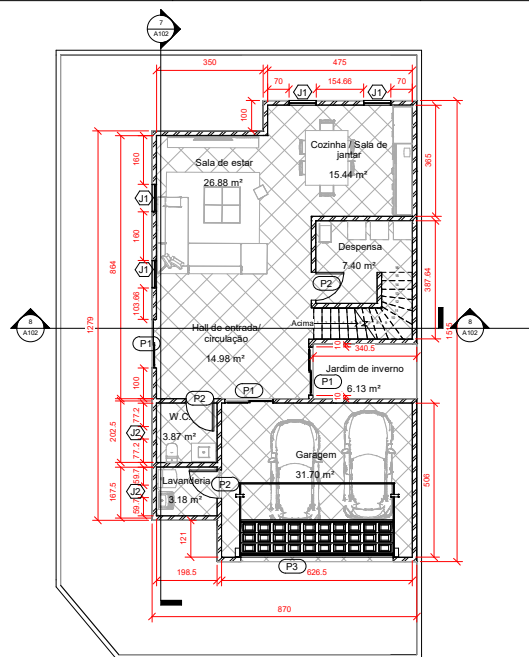
KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2018.

MARTHA, L. F. **ANÁLISE DE ESTRUTURAS CONCEITOS E MÉTODOS BÁSICOS**. 3. ed. RIO DE JANEIRO: LTC, 2010.

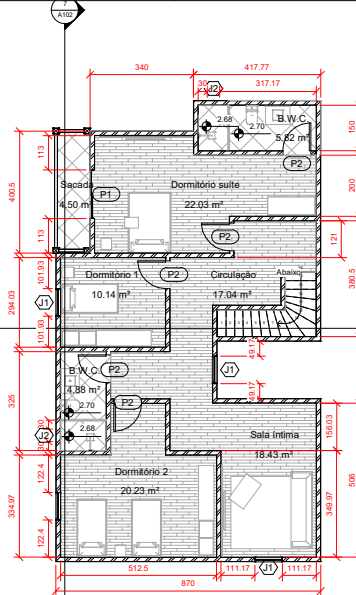
SABADIN, M. H. **Comparação entre solicitações obtidas pelo TQS e Autodesk Robot Structural Analysis:** aplicação a um edifício de pequeno porte. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2018.

SOUZA, R. D.; CUNHA, F. E. **Dimensionamento de estruturas em concreto armado: comparativo entre os softwares Eberick e TQS.** ARTIGO (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Sociedade Educacional de Santa Catarina. Joinville. 2021.

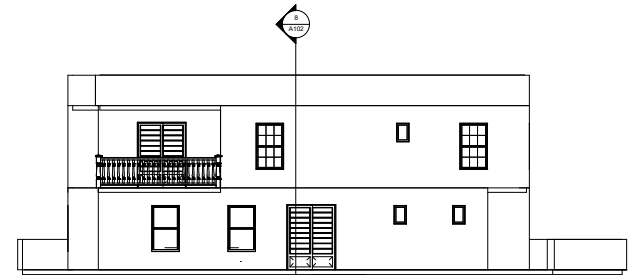
APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO



1 **TÉRREO**
1 : 75



2 **PAVIMENTO SUPERIOR**
1 : 75

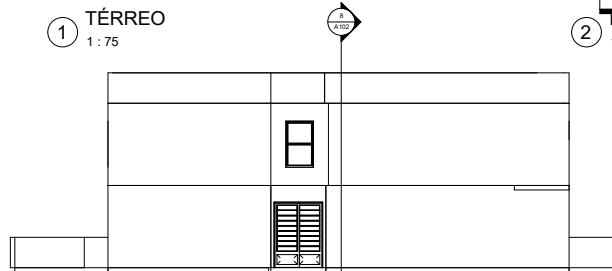


3 **Oeste**
1 : 75

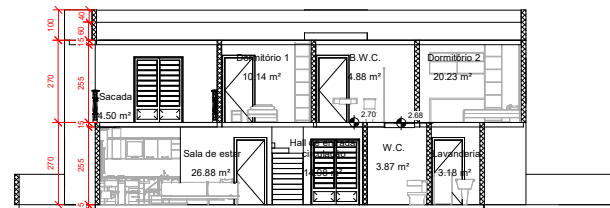


4 **Sul**
1 : 75

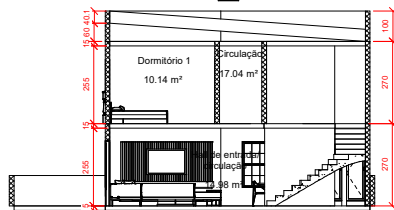
5 **Norte**
1 : 75



6 **Leste**
1 : 75



7 **Corte AA**
1 : 75



8 **Corte BB**
1 : 75

TABELA DE ESQUADRIAS - JANELAS					
Marca de tipo	Contagem	Descrição	Pelotril	Largura	Altura
J1	8	Guilhotina	60.32	90.17	151.13
J2	4	Maxim-ar	150.45	40.6	61

TABELA DE ESQUADRIAS - PORTAS				
Marca de tipo	Contagem	Descrição	Largura	Altura
P1	4	Correr metálica	160	215
P2	8	Folha única	91.5	212.55
P3	1	Garagem basculante	500	200

Projetista
 Verificar sempre o alinhamento
PROJETO
 12/07/22
 PROJETO: Nome do projeto

A102