

**UNIVERSIDADE SANTA CECILIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

THOMAS STEIN VIANA CALABREZ

VICTOR LOPES SCHAEFER

**ECONOMIA DE AÇO NO CÁLCULO DE ARMAÇÃO DE LAJES PELOS
PROCESSOS SIMPLIFICADO MANUAL E SAP2000, E PELO PROCESSO DE
GRELHAS NO SOFTWARE TQS/CAD**

Santos – SP

Junho/2019

UNIVERSIDADE SANTA CECILIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THOMAS STEIN VIANA CALABREZ
VICTOR LOPES SCHAEFER

**ECONOMIA DE AÇO NO CÁLCULO DE ARMAÇÃO DE LAJES PELOS
PROCESSOS SIMPLIFICADO MANUAL E SAP2000, E PELO PROCESSO DE
GRELHAS NO SOFTWARE TQS/CAD**

Projeto de Conclusão de Curso, apresentado
como exigência parcial para obtenção de título
de Engenheiro Civil à Faculdade de engenharia
da Universidade Santa Cecília, sob orientação
do Professor Me. Marcus Vinícius Gonçalves

Santos – SP

Junho /2019

THOMAS STEIN VIANA CALABREZ

VICTOR LOPES SCHAEFER

ECONOMIA DE AÇO NO CÁLCULO DE ARMAÇÃO DE LAJES PELOS
PROCESSOS SIMPLIFICADO MANUAL E SAP2000, E PELO PROCESSO DE
GRELHAS NO SOFTWARE TQS/CAD

Projeto de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do
título de Engenheiro Civil à Faculdade de engenharia da Universidade Santa Cecília.

Data de aprovação: ___/___/2019

Nota: _____

Banca Examinadora

Prof. Me. Marcus Vinicius Gonçalves.

Prof.(a) Ms./Dr.(a)

Orientador.

Prof.(a) Ms./Dr.(a)

RESUMO

A construção civil, visando o melhor desempenho das edificações, busca primar pela qualidade com o menor custo, objetivando o melhor custo-benefício. O objetivo desta pesquisa é identificar qual o melhor método para cálculo de armação das lajes de um pavimento tipo de uma edificação, em relação ao custo. Assim, apresenta-se o comparativo de cálculo realizado através dos Softwares CAD/TQS para a laje armada por grelha e o método simplificado de Czerny e SAP2000 para laje comum. Como resultado secundário deste trabalho é possível identificar se a utilização de um software caro é realmente vantajosa. Após os cálculos, vimos que em relação ao consumo de aço o método de Czerny foi o mais econômico, SAP2000 em segundo lugar e o TQS, impressionantemente na terceira posição. Se colocarmos em relação de produção, os valores são bem significativos na forma contrária à economia do aço. Por fim, um engenheiro recém-formado, só precisará adquirir um software caro igual TQS/CAD e SAP2000, em casos que a produção e otimização seja a maior prioridade, ou em casos de edificações complexas, impossíveis para cálculos manuais.

Palavra-chave: laje em grelha; TQS; SAP; laje maciça, Czerny, aço e economia.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Classe de agressividade ambiental (CAA).....	14
FIGURA 2: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	15
FIGURA 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.....	15
FIGURA 4: Detalhamento da armadura	16
FIGURA 5: Valores dos coeficientes γ_c e γ_s	17
FIGURA 6: Valores do coeficiente adicional γ_n para lajes em balanço.....	19
FIGURA 7: Analogia das grelhas	20
FIGURA 8: Carregamentos considerados de paredes sobre lajes.....	24
FIGURA 9: Inserção de dados iniciais do edifício.....	25
FIGURA 10: Fatores de segurança e carga do edifício	26
FIGURA 11: Critérios gerais do edifício	26
FIGURA 12: Modelador Estrutural	27
FIGURA 13: Editor de esforços positivos horizontais.....	28
FIGURA 14: Editor de esforços negativos verticais.....	29
FIGURA 15: Escolha do modelo a ser modelado no SAP 2000	30

FIGURA 16: Onde será feito o processamento dos carregamentos sobre a estrutura.....	36
FIGURA 17: Lajes lisas, divididas em frações para obtenção da melhor análise nos vãos	43
FIGURA 18: Pórtico derivado de replicações de um pavimento do edifício ligado por pilares.....	44
FIGURA 19: Modelo extrudado do pórtico	44
FIGURA 20: Cores referente a deformação das lajes referente aos momentos na direção x.....	45
FIGURA 21: Cores referente a deformação das lajes referente aos momentos na direção y.....	45
FIGURA 22: Pórtico com aplicação das deformações. Obs. exemplo meramente ilustrativos.....	46
FIGURA 23: Armação negativa horizontal	47
FIGURA 24: Armação negativa vertical.....	48
FIGURA 25: Armação positiva vertical.....	49
FIGURA 26: Armadura positiva horizontal	50
FIGURA 27: Momentos horizontais.....	51
FIGURA 28: Momentos verticais.....	52
FIGURA 29: Flecha deferida final.....	53

FIGURA 30: Resumo das lajes de Czerny.....	54
FIGURA 31: Resumo de consumo de aço.....	55
FIGURA 32: Tabela comparativa de aço em porcentagem.....	55

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Tabelas de Czerny e Casos de vinculações de lajes.....	58
ANEXO 2: Planta de Armações finais.....	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
2. Teoria DAS LAJES	13
2.1 Detalhamento das armaduras.....	16
2.2 Concreto	16
2.3 Aço de armadura passiva	17
2.4 Lajes	18
2.5 Lajes maciças	18
2.6 Placas.....	19
2.6.1 Estruturas como elementos de placa	19
2.7 Analogia de Grelha	20
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	22
3.1. Softwares utilizados e metodologia de cálculo manual:.....	22
3.2. Modelo Conceitual	22
3.3. Escolhas dos materiais:	23
3.4. Segurança do Projeto	23
3.5. Resistencia ao fogo:	23
3.6. Especificações do Pavimento	23
3.7. Carregamentos considerados.....	24
3.8. Inserção de dados nos softwares	24
3.8.1 TQS/CAD	24
3.8.2 SAP2000	29

3.8.3 Método de Czerny	38
3.8.4 Teoria de Marcus	41
4. resultados.....	43
4.1 SAP2000.....	43
4.2 TQS/cad.....	46
4.3 Czerny	53
4.3.1 Resumo das lajes.....	53
4.4 RESUMO DE AÇO	54
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	57
ANEXOS	58
Anexo 1:	58
Anexo 2:	59

1. INTRODUÇÃO

As lajes, na construção civil, são estruturas horizontais planas responsáveis por dividir os pavimentos de uma construção. Servem como cobertura, forro ou piso de uma edificação e podem ser executadas de diversas maneiras. Essas estruturas são apoiadas por vigas e pilares.

O primeiro registro oficial de execução de uma laje armada se deu em 1854 pelo inglês William Boutland Wilkinson, fabricante de gesso e de argamassa.

A técnica adicionou as características do aço à resistência e durabilidade da pedra, mantendo o metal protegido de corrosões. Essa técnica tornou-se a mais utilizada em todo o mundo.

Após a construção civil no Brasil ter vivido um momento de crise nos últimos anos, aos poucos vem sendo observado um pequeno aquecimento no setor, tornando-se inevitável a busca por qualidade, segurança e menor custo. Assim, visando o melhor desempenho das edificações, torna-se necessário o desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas. Para que um empreendimento tenha o menor custo e seja bem executado proporcionando conforto aos usuários é fundamental um estudo comparativo entre diferentes tipos de estruturas visando a melhor alternativa para cada caso. Segundo José Milton de Araújo (2014), o tipo de laje mais usual na construção civil é a laje maciça de concreto, seu emprego maior em relação às outras está relacionado à sua simplicidade executiva e de cálculo.

O trabalho buscou, através de pesquisa hipotética dedutiva, apresentar a melhor alternativa de procedimento para cálculo da armação da laje de um pavimento tipo de um edifício. Para isso, dois tipos de lajes maciças foram comparados: as lajes armadas por grelha e pelo processo simplificado. O uso de cada um desses tipos de laje foi simulado considerando-se iguais condições de contorno e carregamentos, a fim de avaliar os respectivos consumos de aço e saber qual a melhor relação custo-benefício. Para identificar qual tipo de laje possibilitará uma maior otimização do projeto estrutural, a laje armada por grelha foi calculada utilizando-se os softwares CAD/TQS. Já a laje por processo simplificado foi calculada através do método de Czerny e SAP2000.

A presente monografia traz na primeira parte um breve histórico sobre o início da utilização do concreto armado em estruturas de edificações e a teoria pertinente. Apresentam-se em seguida, a metodologia e as descrições dos procedimentos

executados para a utilização dos softwares e o cálculo pelo método de Czerny. Apresenta-se também, o método de Marcus, o qual o CAD/TQS faz variações com Czerny, seguindo-se a conclusão.

1.1. JUSTIFICATIVA

A realização deste trabalho visa demonstrar através das comparações efetuadas, qual o processo para o cálculo de armação de lajes com melhor custo e menor tempo, e se um software caro em sua melhor versão é necessário para um recém-formado. E trazer alguns conceitos que não foram abordados na Graduação.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O estudo do método de aprendizagem de lajes armadas por faixas a fim de mostrar a economia ou não do método, em relação ao método simplificado de Czerny.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar Normas Técnicas referentes a Projetos de Estruturas de Concreto;
- b) Realizar um comparativo entre lajes maciças armadas pelo método Czerny e por grelha utilizando os softwares CAD/TQS que utiliza o método de Marcus e Czerny e Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung (SAP2000);
- c) Aperfeiçoar os conhecimentos nos softwares CAD/TQS e SAP2000 e;
- d) Analisar o quantitativo de materiais para os diferentes tipos de laje.

2. TEORIA DAS LAJES

O inglês William Boutland Wilkinson (1819-1902), fabricante de gesso e de argamassa foi o primeiro a patentear um “sistema” de lajes em concreto armado em 1854. Ele construiu, com este esquema, uma casa de campo com dois pavimentos de alvenaria em que reforçou os planos de concreto (pisos e telhado) com barras de ferro e arames. A patente de Wilkinson foi classificada *como* “melhorias na construção à prova de fogo em moradias, armazéns e outros edifícios”. Este registro oficial é a descrição mais antiga em termos da efetiva utilização do concreto armado em estruturas de edificações.

O surto inventivo de Wilkinson avançou em direção a outro esquema de lajes desenvolvido. O plano de 1854 que impressiona pelo avanço técnico na questão da tecnologia de elaboração de lajes, podendo ser considerada também como as primeiras lajes nervuradas da história do concreto armado – consistia em uma série de blocos de gesso que funcionavam como caixões perdidos que serviam de suporte para colocar o concreto de maneira uniforme, moldando uma série de nervuras com um plano de laje na parte superior, as armaduras das nervuras e das vigas de sustentação seguiam as trajetórias das trações. A laje tinha um vão de aproximadamente 4m em cada direção e uma malha de barras de ferro era colocada na parte inferior da camada de concreto de 4cm de espessura que cobria as nervuras.

De acordo com a NBR 6118:2014, elementos de concreto armado são aqueles cujos comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

Estado-limite último ELU estado-limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.

Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Figura 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Figura 1: Classe de agressividade ambiental (CAA).

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

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6118:2014.

Qualidade do concreto de cobrimento atendidas as demais condições estabelecidas nesta seção, a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura. Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na Figura 2.

Figura 2: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6118:2014

A correlação do fator água cimento com a classe de agressividade ambiental está disposta na Figura 3.

Figura 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$.

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/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 $\geq 15\text{ mm}$.

^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.

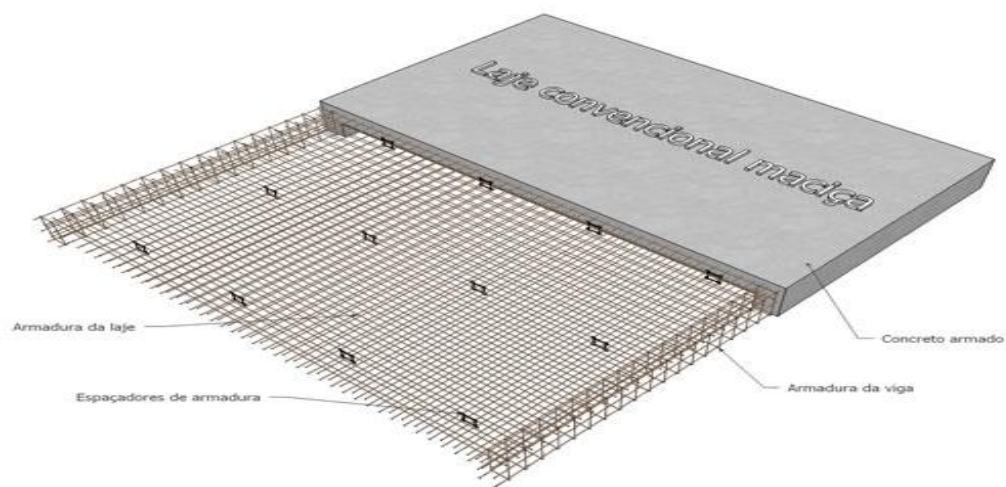
^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45\text{ mm}$.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6118:2014.

2.1 DETALHAMENTO DAS ARMADURAS

As barras devem ser dispostas dentro do componente ou elemento estrutural, de modo a permitir e facilitar a boa qualidade das operações de lançamento e adensamento do concreto. Para garantir um bom adensamento, é necessário prever no detalhamento da disposição das armaduras espaço suficiente para entrada da agulha do vibrador como na Figura 4 que sucede.

Figura 4: Detalhamento da armadura.



Fonte: (<https://cddcarqfeevale.files.wordpress.com/2012/04/laje-convencional-500.jpg>)

2.2 CONCRETO

a) Classes:

Esta Norma se aplica aos concretos compreendidos nas classes de resistência dos grupos I e II, da ABNT NBR 8953, até a classe C90. A classe C20, ou superior, se aplica ao concreto com armadura passiva e a classe C25, ou superior, ao concreto com armadura ativa. A classe C15 pode ser usada apenas em obras provisórias ou concreto sem fins estruturais, conforme a ABNT NBR 8953. Massa específica. Esta Norma se aplica aos concretos de massa específica normal, que são aqueles que, depois de secos em estufa, têm massa específica (ρ_c) compreendida entre 2.000 kg/m³ e 2.800kg/m³. Se a massa específica real não for conhecida, para efeito de cálculo, pode-se adotar para o concreto simples o valor 2.400kg/m³ e para o concreto

armado, 2.500kg/m³. Quando se conhecer a massa específica do concreto utilizado, pode-se considerar para valor da massa específica do concreto armado aquela do concreto simples acrescida de 100kg/m³ a 150kg/m³.

2.3 AÇO DE ARMADURA PASSIVA

a) Categoria:

Nos projetos de estruturas de concreto armado deve ser utilizado aço classificado pela ABNT NBR 7480, com o valor característico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60. Os diâmetros e seções transversais nominais devem ser os estabelecidos na ABNT NBR 7480.

Módulo de elasticidade na falta de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante, o módulo de elasticidade do aço pode ser admitido igual a 210GPa.

Resistência de cálculo do concreto no caso específico da resistência de cálculo do concreto (f_{cd}), alguns detalhes adicionais são necessários, conforme descrito a seguir:

b) Quando a verificação se faz em data j igual ou superior a 28 dias, adota-se a expressão:

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad (1)$$

Nesse caso, o controle da resistência à compressão do concreto deve ser feito aos 28 dias, de forma a confirmar o valor de f_{ck} adotado no projeto.

Coefficientes de ponderação das resistências no estado-limite último (ELU) os valores para verificação no estado-limite último estão indicados na Figura 5.

Figura 5: Valores dos coeficientes γ_c e γ_s .

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

2.4 LAJES

2.5 LAJES MACIÇAS

Reações de apoio para o cálculo das reações de apoio das lajes maciças retangulares com carga uniforme, podem ser feitas as seguintes aproximações:

- a) quando a análise plástica não for efetuada, as charneiras podem ser aproximadas por retas inclinadas, a partir dos vértices, com os seguintes ângulos: 45° entre dois apoios do mesmo tipo; 60° a partir do apoio considerado engastado, se o outro for considerado simplesmente apoiado; 90° a partir do apoio, quando a borda vizinha for livre.

Aproximações para diagramas de momentos fletores quando houver predominância de cargas permanentes, as lajes vizinhas podem ser consideradas isoladas, realizando-se a compatibilização dos momentos sobre os apoios de forma aproximada. No caso de análise plástica, a compatibilização pode ser realizada mediante alteração das razões entre momentos de borda e vão, em procedimento iterativo, até a obtenção de valores equilibrados nas bordas. Permite-se, simplificarmente, a adoção do maior valor de momento negativo em vez de equilibrar os momentos de lajes diferentes sobre uma borda comum.

Lajes maciças nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30kN e;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de l 42 para lajes de piso bi apoiadas e l 50 para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

No dimensionamento das lajes em balanço, os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados devem ser multiplicados por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na Figura 6.

Figura 6: Valores do coeficiente adicional γ_n para lajes em balanço.

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

onde
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 h$;
 h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6118:2014.

2.6 PLACAS

Elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes. Placas com espessura maior que 1/3 do vão devem ser estudadas como placas espessas.

2.6.1 Estruturas como elementos de placa

Hipóteses básicas

Estruturas de placas podem ser analisadas admitindo-se as seguintes hipóteses:

- manutenção da seção plana após a deformação, em faixas suficientemente estreitas e;
- representação dos elementos por seu plano médio.

Na determinação dos esforços solicitantes nas lajes, deverá ser avaliada a necessidade da consideração da aplicação da alternância das sobrecargas. Para estruturas de edifícios em que a carga variável seja de até 5kN/m² e que seja no máximo igual a 50% da carga total, a análise estrutural pode ser realizada sem a consideração de alternância de cargas.

Vãos efetivos de lajes ou placas é quando os apoios puderem ser considerados suficientemente rígidos quanto à translação vertical, o vão efetivo deve ser calculado pela seguinte expressão:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (2)$$

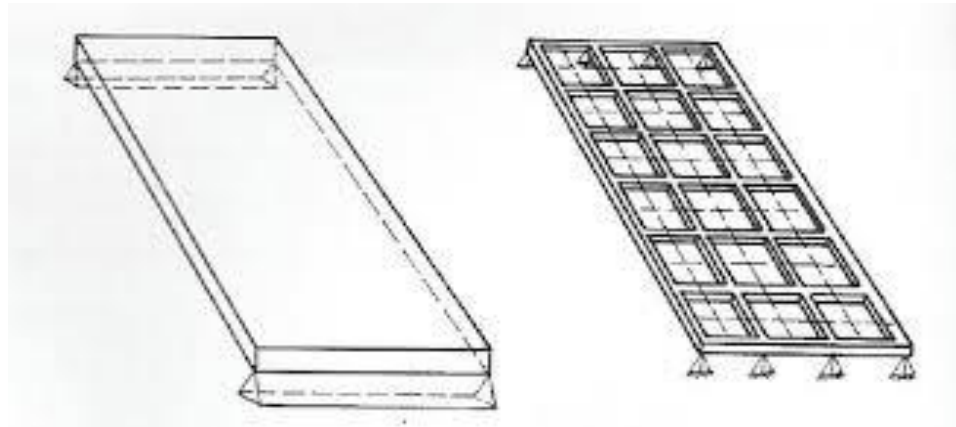
Análise linear com ou sem redistribuição aplicam-se às estruturas de placas os métodos baseados na teoria da elasticidade, com coeficiente de Poisson igual a 0,2.

2.7 ANALOGIA DE GRELHA

Conforme Carvalho (1994), a ideia de se interpretar uma laje através de uma grelha equivalente não é nova, tendo sido feita inicialmente por Marcus em 1932, que na época, não possuía computadores e tinha que se valer de processos aproximados para resolver as grelhas. Anos após, em 1959, Lightfoot retomou a analogia de grelha no estudo de pavimentos, já usando programas de computador. Para analisar uma laje por Analogia de Grelha, deve-se discretizá-la em uma série de faixas com determinada largura. Considerando que as faixas podem ser substituídas por elementos estruturais de barras exatamente nos seus eixos, obtém-se então uma grelha de barras plana.

As grelhas podem ser consideradas como um conjunto de vigas individuais, interconectadas nos seus nós ou pontos nodais demonstrado na Figura 7.

Figura 7: Analogia das grelhas.



Fonte: HAMBLY 1976.

O processo de substituição do pavimento por uma grelha equivalente permite reproduzir o comportamento estrutural de pavimentos com praticamente qualquer geometria. Conforme Banki & Coelho (2009), a rigidez à torção tem grande influência nos resultados dos esforços e deslocamentos de uma grelha. Para analisar uma laje por analogia de grelha deve-se, portanto, estudar a influência desse parâmetro e

determinar qual o valor a ser adotado em função dos resultados que se deseja obter, dependendo do valor adotado para a rigidez à torção das barras da grelha podem-se obter valores muito próximos dos conquistados pela teoria da elasticidade. As características geométricas das barras da grelha são de dois tipos: as do elemento placa (laje) e as do elemento viga-laje. Considerando uma faixa de largura b e altura h (espessura da laje) é feito o cálculo da inércia à flexão dos elementos de placa.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

O trabalho sucedeu uma pesquisa aplicada e hipotética dedutiva com fins quantitativos e qualitativos dos resultados.

Sucedeu hipotética dedutiva pois colocamos em prova as vantagens ou não da utilização de softwares para o cálculo de um pavimento tipo de um edifício.

Busca-se apontar o procedimento mais econômico em relação aos materiais utilizados no dimensionamento da estrutura, levando em conta também o investimento inicial.

Os resultados sucederam-se expressos em forma de tabela, facilitando a forma de análise. Dentre eles serão analisados quantitativo de aço e o valor dos softwares.

3.1. SOFTWARES UTILIZADOS E METODOLOGIA DE CÁLCULO MANUAL:

Os processos para análise, foram escolhidos pela sua divergência de programação e resultado, podendo assim observar a divergência ou qualidade deles.

- a) TQS/CAD, Versão 18.2;
- b) SAP 2000. Versão 15.0 e;
- c) Czerny; processo manual;

3.2. MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual foi feito com base no modelo proposto por José Milton de Araújo no livro “Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado”. 2014.

- a) Concreto:
- b) Resistencia característica = 35MPa aos 28 dias;
- c) Relação água-cimento máxima = 0,55;
- d) Consumo de cimento = 280kg/m³ e;
- e) Ecs. (Módulo de elasticidade do concreto secante) = 294029kgf/cm²

Projeto elaborado conforme a ABNT NBR-6118:2014

3.3. ESCOLHAS DOS MATERIAIS:

Os aços escolhidos foram os usuais, no ramo da construção, mantendo o trabalho mais próximo do realismo de acordo com a norma.

- a) ABNT NBR-7480:2007;
- b) Aço CA-50 em barras de maior diâmetro;
- c) Aço CA-60 em barras onde podem fios de pequenos diâmetros (estribos, armaduras de lajes).

Exemplo:

CA-50 Diâmetros: (6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25)mm e;

CA-60 Diâmetros: 5mm;

3.4. SEGURANÇA DO PROJETO

Para assegurar a segurança da estrutura temos que levar em consideração o mínimo exigido pela norma, podendo assim por intuição aumentar seus cobrimentos.

- a) Classe de Agressividade Ambiental: II (urbana);
- b) Cobrimentos:
Lajes: 2,5cm e;
Vigas: 3,0cm;

3.5. RESISTENCIA AO FOGO:

- a) ABNT NBR-14432:2001 e ABNT NBR-15200:2012.

3.6. ESPECIFICAÇÕES DO PAVIMENTO

A altura do pé direito foi determinada para manter um padrão de edifícios convencionais.

- a) Altura do Pé Direito: 2,80m e;
- b) Espessura das Lajes: 11cm e 16cm;

3.7. CARREGAMENTOS CONSIDERADOS

De acordo com a Figura 8, onde as respectivas letras correspondem (g = carregamento característico em kN/m^2), (q = carregamento acidental em kN/m^2) e Carga total em kN/m^2 .

Figura 8: Carregamentos considerados de paredes sobre lajes.

Laje	Permanentes					Acidental		Carga total $p=g+q$
	Peso próprio	revestimento	revestimento de teto	alvenaria	impermeabilização	g	q	
L201=214	2,75	1	0,3		1	5,1	1,5	6,55
L202=211	4	1	0,3	2,06	1	8,4	1,5	9,86
L204=217	2,75	1	0,3		1	5,1	1,5	6,55
L205=210	2,75	1	0,3		1	5,1	1,5	6,55
L208=213	2,75	1	0,3		1	5,1	2	7,05
L209	2,75	1	0,3	1,8	1	6,9	2,5	9,35

Fonte: (do autor).

3.8. INSERÇÃO DE DADOS NOS SOFTWARES

3.8.1 TQS/CAD

Software que utiliza o método elástico (variação de Marcus e Czerny) e plástico (variação do processo de ruptura).

Utilizando os resultados de processamento de grelha ou elementos finitos.

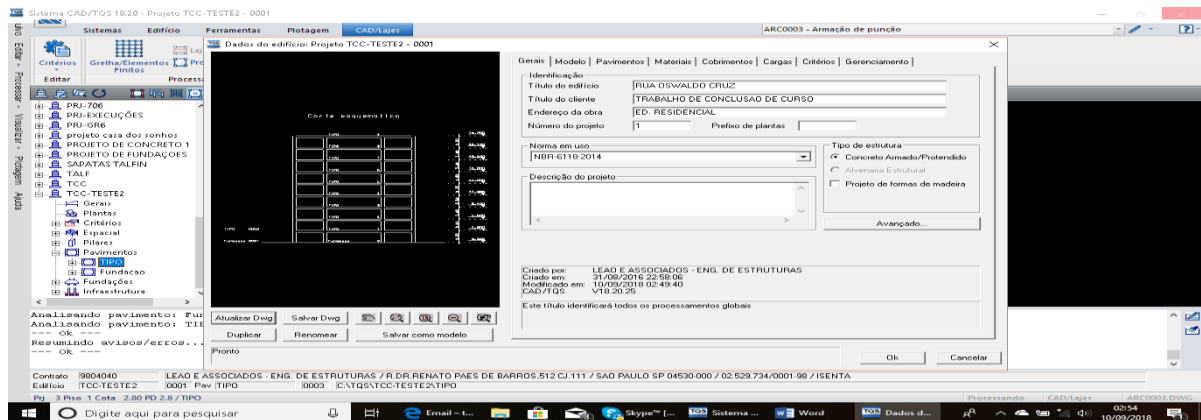
Modelo IV de cálculo foi escolhido, onde todos os elementos (vigas, lajes e pilares) são analisados separadamente.

O processo de lançamento estará explícito abaixo.

Novo edifício:

- a) Gerais: Onde será inserido o título do edifício, o título do cliente e o local da obra; além de definir a norma em uso no projeto e o tipo de estrutura de acordo com a Figura 9.

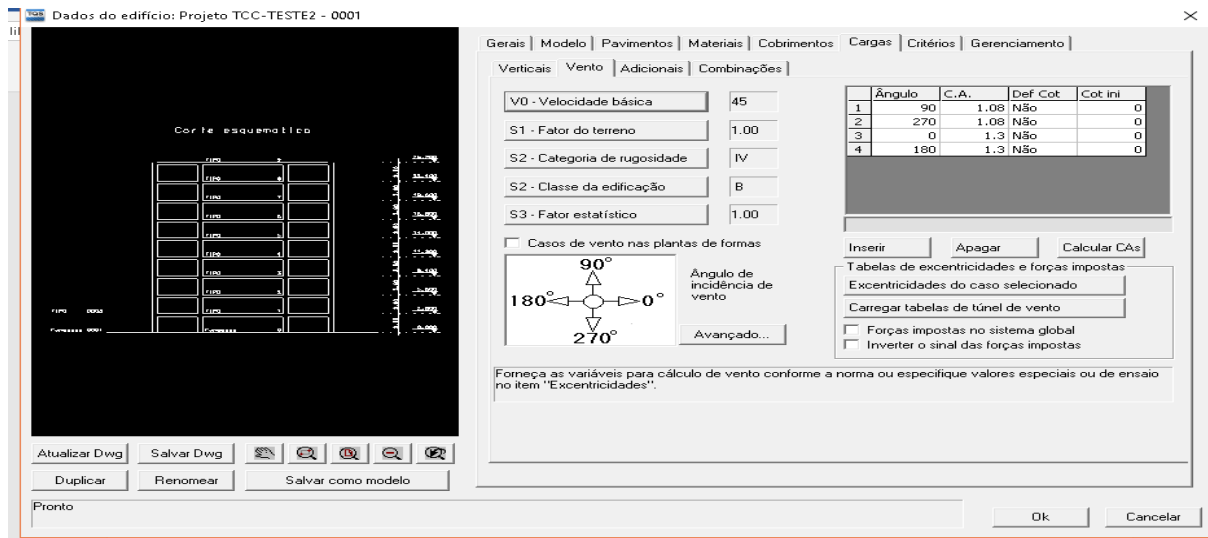
Figura 9: Inserção de dados iniciais do edifício.



Fonte: (do autor).

- b) Modelo:
Onde será definido o modelo estrutural do edifício; modelos independentes;
- c) Pavimentos:
Onde será definido os tipos de pavimentos e suas características;
- d) Materiais:
Onde será inserido o modo de fornecimento de f_{ck} ; a classe de agressividade ambiental e $f_{ck,s}$ gerais (vigas, pilares e lajes);
- e) Cobrimentos: Onde serão inseridos os cobrimentos definidos por norma;
- f) Cargas: Onde será inserido o ponderador de carga permanente (γ_f); as cargas de vento estimadas pelo programa; fator do terreno (S1); categoria de rugosidade (S2); classe de edificação (S2); fator estatístico (S3), de acordo com a Figura 10.

Figura 10: Fatores de segurança e carga do edifício.

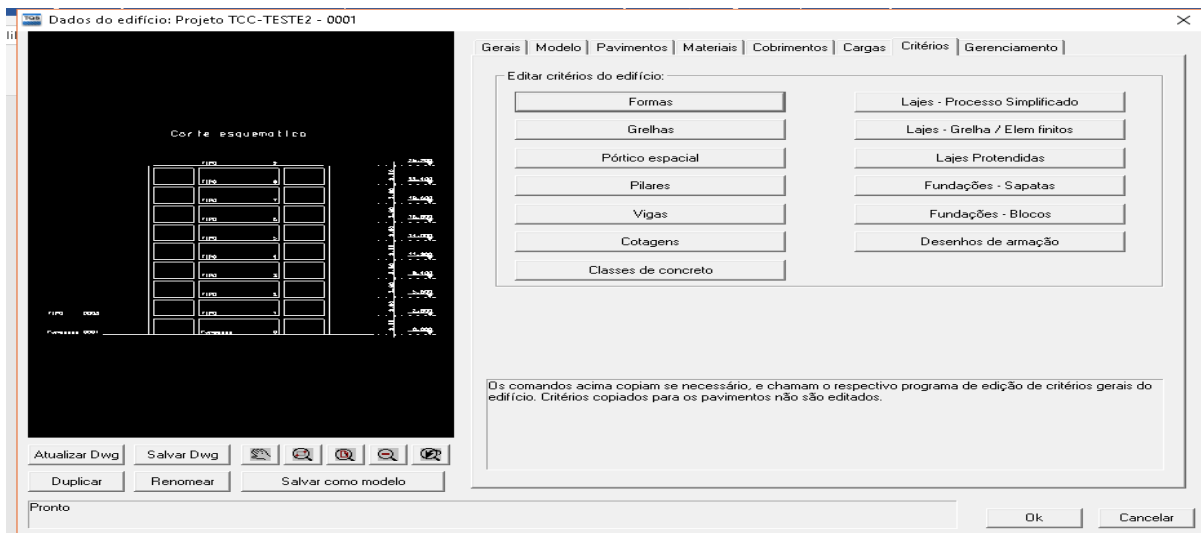


Fonte: (do autor).

g) Critérios:

Onde serão definidos os critérios do edifício de acordo com a Figura 11.

Figura 11: Critérios gerais do edifício.



Fonte: (do autor).

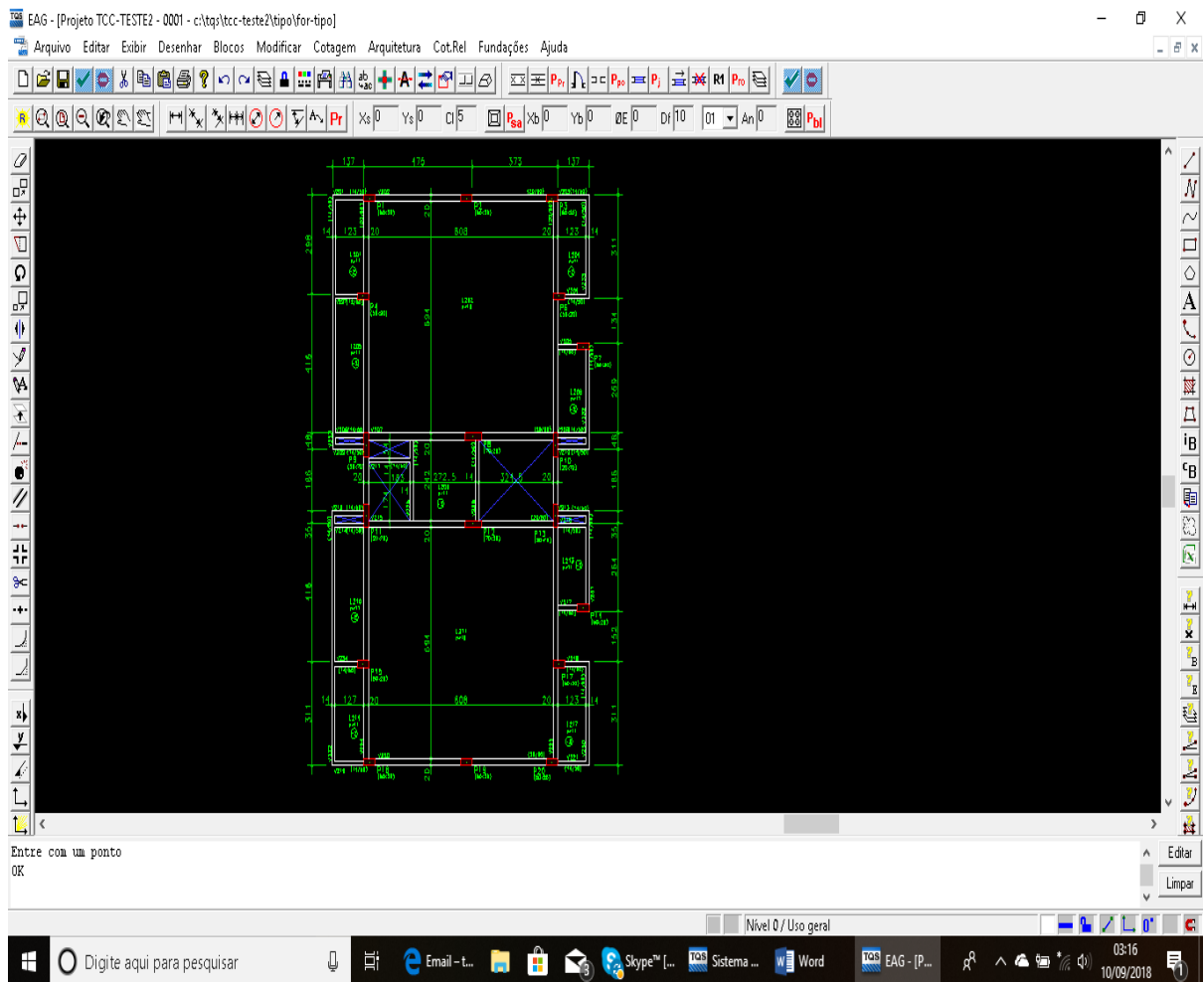
h) Gerenciamento:

Onde serão inseridas as extensões desejadas após o salvamento e;

i) Modelador estrutural:

Onde serão inseridos pilares, vigas, lajes, carregamentos e onde serão definidas vinculações e vigas de acordo com a Figura 12.

Figura 12: Modelador Estrutural.



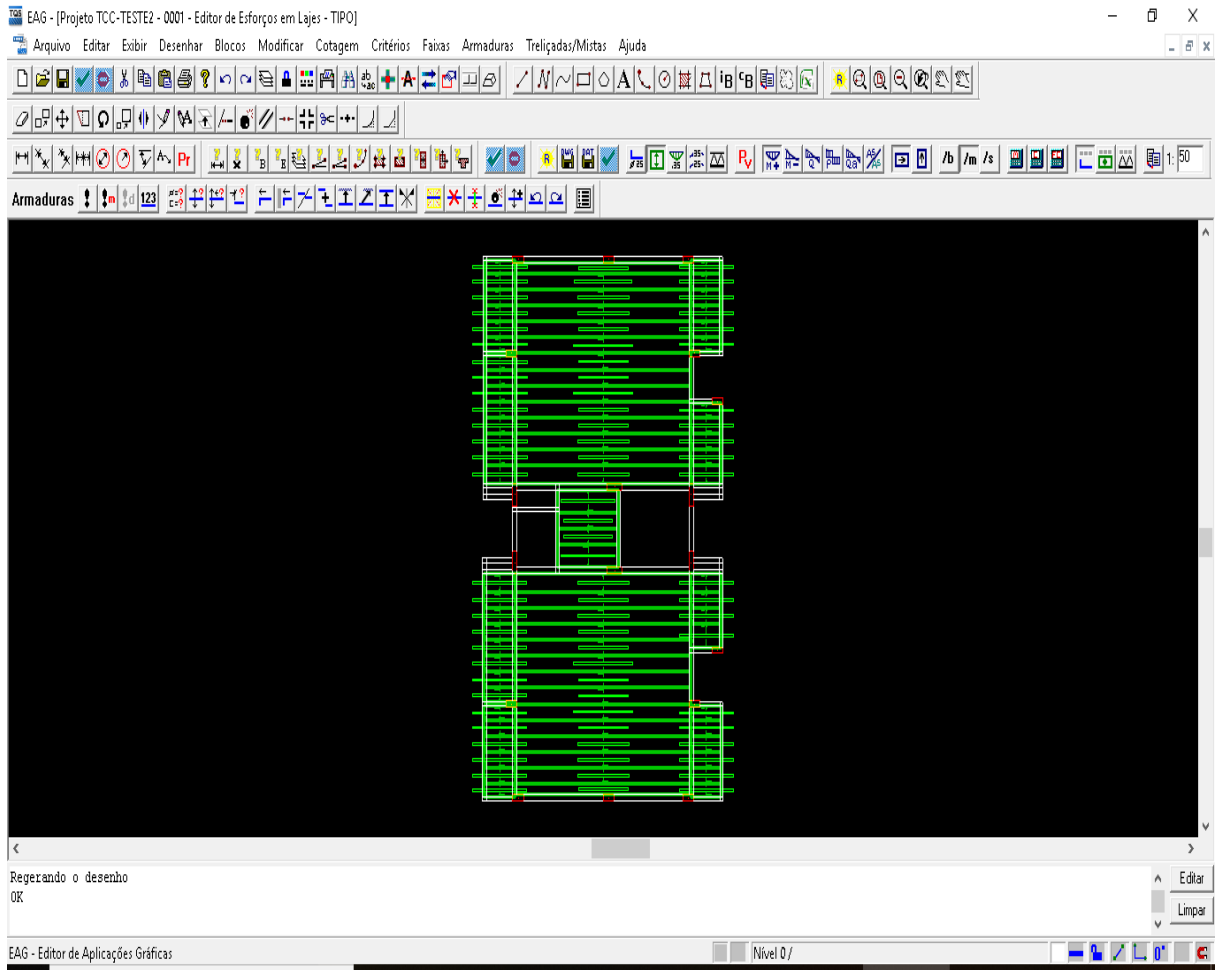
Fonte: (do autor).

j) Processamento global:

Onde serão definidos os elementos a serem processados para a obtenção de valores e parâmetros comparativos dentro da norma, e logo após o fim deste processamento teremos um relatório de erros e avisos e;

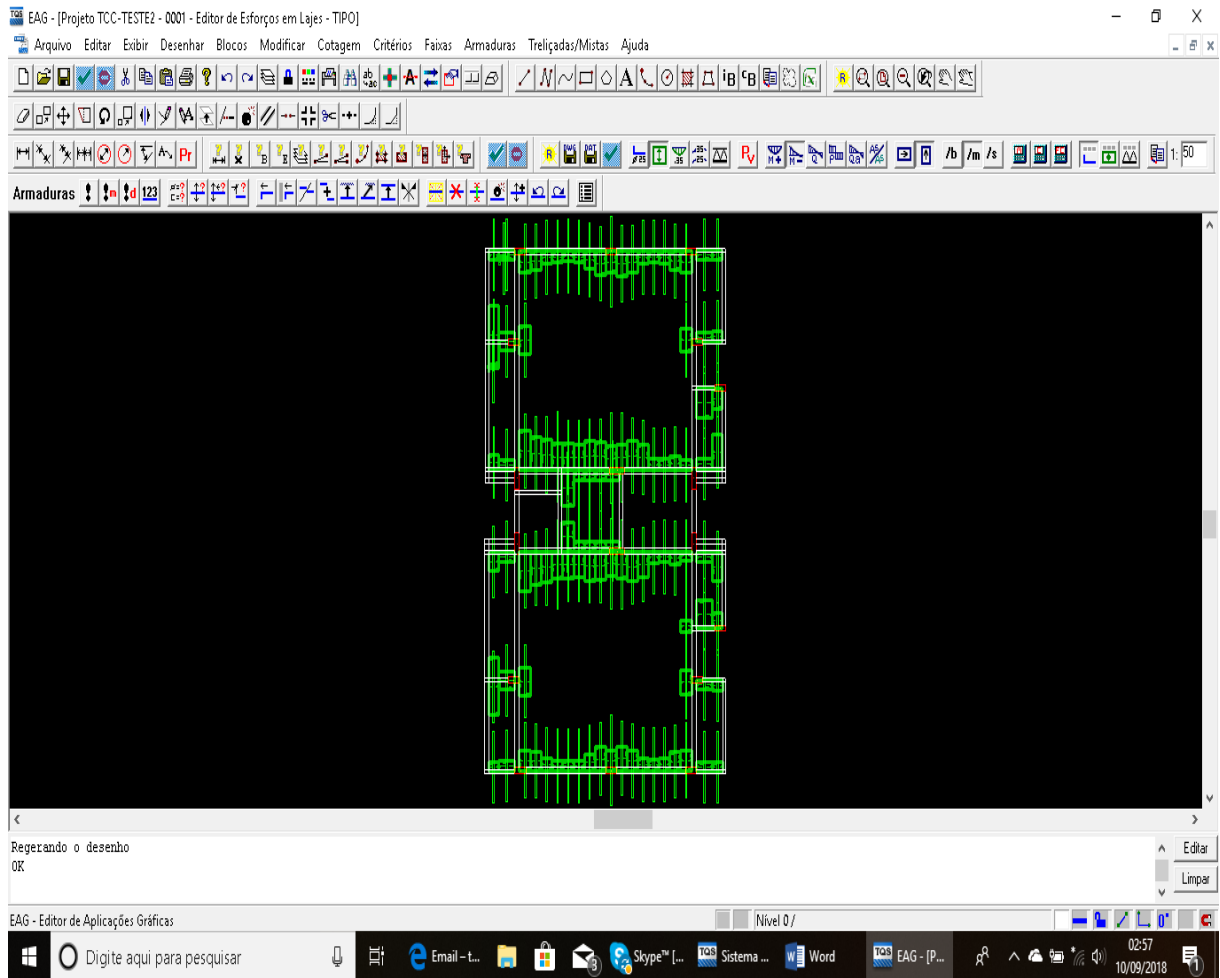
k) Editor de esforços em lajes: onde serão igualadas faixas de armação de acordo com o momento solicitante obtendo-se a área de aço necessária para resistir à flexão em cada parte da laje de acordo com a Figura 13 e 14.

Figura 13: Editor de esforços positivos horizontais.



Fonte: (do autor).

Figura 14: Editor de esforços negativos verticais.



Fonte: (do autor).

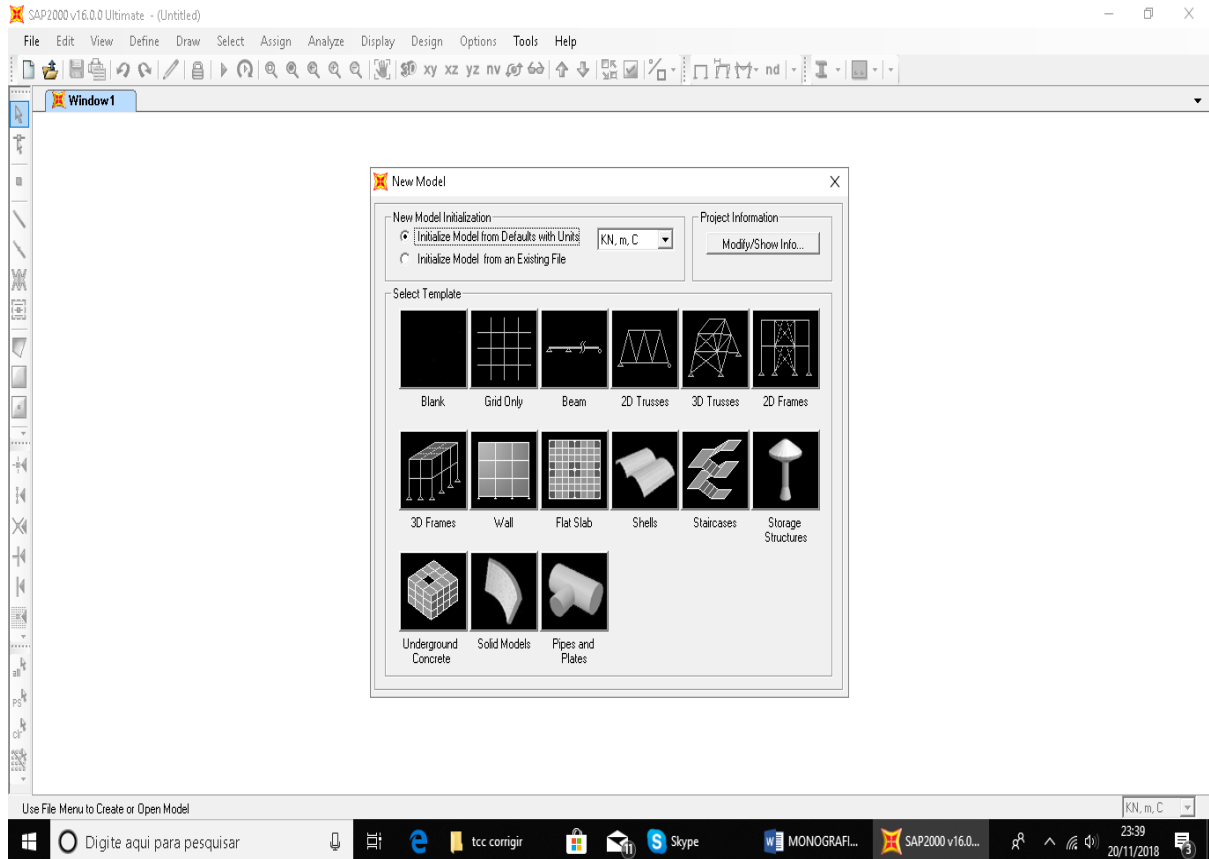
3.8.2 SAP2000

3.8.2.1 Definição de um novo modelo no SAP

O passo a passo demonstrado nesse trabalho foi retirado do manual Análise de estruturas 3D com o programa SAP2000, versão 11.0.4, de Hugo Rodrigues (2008); com algumas alterações feita pelo autor. Mantendo a genuinidade do trabalho sem mudanças significativas no conteúdo, apenas com a inserção de imagens próprias.

- a) Iniciar a definição de um novo modelo;
- b) No menu “File” selecionar “New Model”; de acordo com a Figura 15.

Figura 15: Escolha do modelo a ser modelado no SAP 2000.



Fonte: (do autor).

- c) Selecionar o botão assinalado “Initialize Model from Defaults with Units” e selecionar as unidades de trabalho pretendidas;
- d) Iniciar o modelo com a definição de uma grelha de referência. Selecionar o botão “Grid Only”;
A opção “grid only” permite a definição de uma grelha de referência para desenho posterior da estrutura;
- e) A janela de opção “Quick Grid Lines” permite definir a grelha geral, número de alinhamento necessários para desenhar o modelo em X, Y e Z, assim como o espaçamento entre alinhamentos que é muito útil para estruturas regulares.

Assim, para o caso em estudo, são necessárias algumas adaptações à grelha no que se refere às cotas em Z dos alinhamentos;

- f) No menu “Define” seleccionar “Coordinate Systems-Grids”, para se proceder ao acerto da grelha;
- g) Seleccionar “Modify-Show System”, para se proceder ao acerto da grelha;
- h) Alterar as coordenadas das linhas de referência aditando directamente os respectivos valores nas janelas assinaladas;
- i) Criar linhas de grelha editando directamente;
- j) Alterar o tamanho da identificação da grelha que aparecerá no modelo e;
- k) No final clicar em “OK”.

Adicionar barras

- a) Na barra de tarefas à esquerda seleccionar o botão assinalado;
- b) Seleccionar na caixa ativa a seção da barra a introduzir;
- c) Definir a barra clicando em dois nós da grelha definida;
- d) Repetir as operações anteriores para as restantes barras;

Definição de um novo modelo no SAP com recurso ao AutoCAD

- a) Iniciar a definição de um novo modelo;
- b) No menu “File” seleccionar “New Model”;
- c) Seleccionar o botão assinalada “Initialize Model from Defaults with Units” e seleccionar as unidades de trabalho pretenidas;
- d) Iniciar o modelo em branco “blank”;
- e) Seleccionar o menu “File”. - “Import” – “AutoCad –dxf file”;
- f) Seleccionar o ficheiro dxf com o modelo definido;
- g) Abrir;
- h) Seleccionar o eixo vertical e as unidades;
- i) Seleccionar “OK”;
- j) Seleccionar a layer a importar e;
- k) Seleccionar “OK”;

Para facilitar a futura manipulação da estrutura podem ser criados grupos associando elementos estruturais. Por exemplo:

- a) Selecionar todos os pilares;
- b) Menu- “assign”- “Assign to Group”;
- c) Adicionar um novo grupo – Selecionar “add New Group”;
- d) Identificar o Grupo e;
- e) OK.

Com os grupos definidos pode ser visualizado apenas os elementos de um determinado grupo.

Selecionar o grupo que se pretende visualizar:

- a) Menu “select” – “Select” – “Groups” e;
- b) Visualizar apenas o grupo selecionado: menu: “View” – “Show Selection only”.

De forma idêntica à importação das barras, procede-se agora à importação dos painéis de laje. Ao importar as lajes estas ficam selecionadas e assim pode ser criado de imediato um grupo para as lajes.

Os painéis de lajes importados representam apenas 1 elemento finito, assim esta deve ser refinado em um maior número de elementos, a fim de representar melhor o comportamento desenhado.

- a) Selecionar as lajes: Menu “select” – “Select” – “Groups” – selecionar o grupo das lajes;
- b) Refinar os painéis de laje: menu “edit – edit Areas – Divide Areas” e;
- c) Número de divisões em cada direção ou tamanho máximo de cada dimensão do elemento.

Definição de materiais lineares

- a) Menu: “define” – “materials”;
- b) Adicionar um novo, material selecionar “add New Material” e;

Neste menu podem ser geridos os materiais, nomeadamente apagar, adicionar ou modificar um material;

- c) Para a análise em causa devem identificar-se o material, e alterar o módulo de elasticidade e o peso volúmico.

Definição das seções de barras:

- a) Menu “define” – “Frame Sections”;
- b) Adicionar uma nova seção “add New property”;
- c) Selecionar o tipo de seção betão, aço... esta opção condiciona o tipo de seções que se podem adicionar;
- d) Selecionar – “concrete”;
- e) Selecionar – “Rectangular”;
- f) Identificar a seção;
- g) Identificar o material tipo associado a esta seção e;
- h) Indicar dimensões da seção.

Associar seções às respectivas barras

- a) Menu “Select” – “Select” – “Groups” – “Vigas”;
- b) “Assign” – “Frame Sections”;
- c) Selecionar a seção tipo a associar aos elementos selecionados e;
- d) “OK”.

Verificar as seções

É importante verificar a seções introduzidas, principalmente se a direção considerada pelo programa corresponde à direção pretendida.

- a) Selecionar o quadro de opção de visualização: “set Display Options”;
- b) Selecionar “extrude View”;
- c) Verificar no programa as dimensões das seções e;

Definição das seções das lajes:

- a) Menu: “Define” – “Area Sections”;
- b) “add New Section”;
- c) Identificar a laje;
- d) Escolher o material tipo;
- e) Identificar a espessura equivalente de membrana e de flexão;
- f) Selecionar as lajes: “Select” – “Select” – “Groups” – “Lajes”;
- g) Menu: “Assign” – “Area” – “Sections” e;
- h) Escolher a laje tipo previamente definida.

Apoios

- a) Selecionar os nós que se pretende restringir algum dos graus de liberdade;
- b) Menu: Assign – Joint – Restraints e;
- c) Existe um menu com os apoios típicos;

Selecionar as restrições nodais pretendidas ou selecionar o apoio nos atalhos.

Podem ainda ser impostas outras condições fronteira em nós:

- a) Selecionar os nós;
“Assign” – “Joint” – “Springs” e;
- b) Pode impor-se molas em um ou em vários graus de liberdade dos nós selecionados.

Definições de casos de carga:

- a) Deve definir-se para cada ação um caso de carga. Desta forma, será associado a cada caso de carga o conjunto de cargas (distribuídas, concentradas) da respectiva ação;
- b) No menu “Define” selecionar “Load Cases”;
- c) Na caixa ativa “Define Loads” adicionar os casos de carga alterando os parâmetros assinalados e clicando no botão “Add New Load” – Se na ação DEAD (peso próprio) for definido o coeficiente 1 no parâmetro “Self Weight

Multiplier”, o programa inclui automaticamente o peso próprio da estrutura definida (vigas, pilares e lajes) e;

- d) Inseridas todas as ações clicar em “OK”.

Casos de análise

- a) Um caso de análise corresponde a um cálculo que se pretende efetuar. Podemos definir um único caso de análise (cálculo estático linear) incluindo nesta análise todos os casos de carga, ou definir um caso de análise para cada caso de carga;
- b) O programa estabelece por defeito um caso de análise associado a cada caso de carga definido anteriormente. Esta modalidade é prática facilitando a definição das combinações a efetuar;
- c) Para verificarmos os casos de análise estabelecidos selecionar no menu “Define” – “Analysis Cases”;
- d) Selecionando o botão “Modify-Show Case” podemos verificar na caixa ativa “Analysis Case Data” o tipo de análise a efetuar (estática linear) e os casos de carga associado ao caso de análise e;
- e) No final clicar em “OK”.

Definição de combinações

- a) No menu “Define” selecionar “Combinations”;
- b) Para definir uma nova combinação clicar no botão “Add New Combo”;
- c) Na caixa ativa “Response Combination Data” definir: - nome da combinação (COMB1);

Adicionar as ações e respectivos coeficientes de combinação.

- d) No final clicar em “OK” e;
- e) Repetir os pontos b a d para as restantes combinações.

Aplicação de cargas

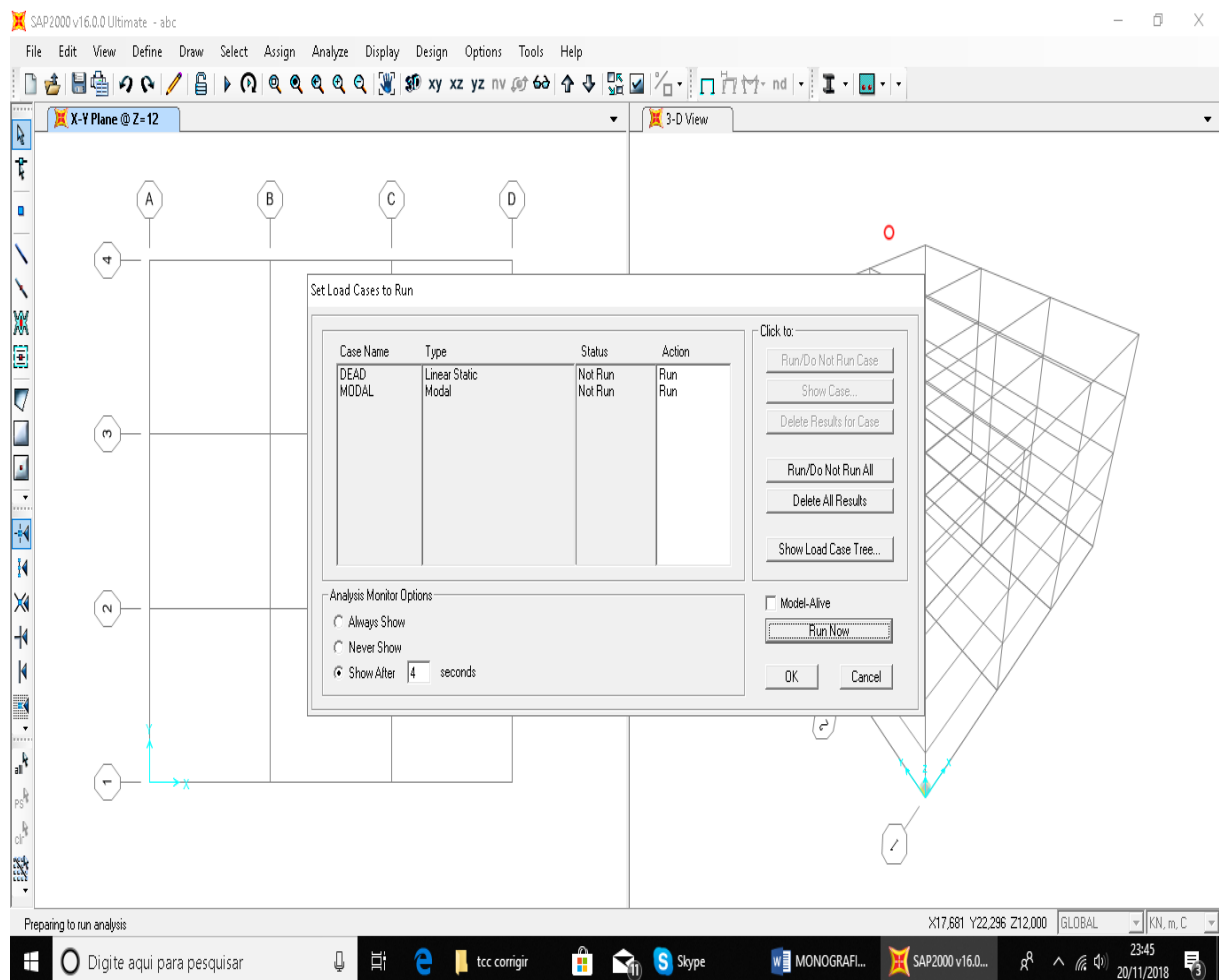
- a) Aplicação de cargas distribuídas nas lajes;

- b) Selecionar as lajes através do ponteiro ou através da seleção de grupos;
- c) No menu “Assign” selecionar “Area Loads”;
- d) Editar na caixa ativa “Area Uniforma Loads” e;
O caso de carga; O valor da carga
- e) No final clicar em “OK”.

Análise:

- a) No menu “Analyze” selecionar “Run Analysis”;
- b) Verificar se na caixa ativa estão selecionadas todas as ações a calcular e;
- c) Selecionar na caixa ativa o botão “Run Now”; de acordo com a Figura 16.

Figura 16: Onde será feito o processamento dos carregamentos sobre a estrutura.



Fonte: (do autor).

Visualização de resultados:

- a) Selecionar no menu “Display” – “Show Deformed Shape”;
- b) Selecionar o caso de carga na caixa ativa “Deformed Shape” e;
- c) Selecionar com o rato um nó e clicar no botão direito para visualizar informação detalhada dos deslocamentos do nó.

Esforços nas barras:

- a) Selecionar no menu “Display” – “Show Forces-Stresses” – “Frame-Cables”;
- b) Selecionar o caso de carga e o esforço pretendido na caixa ativa “Member Force Diagrams for Frames” e;
- c) Para visualizar informação detalhada de uma barra, selecionar a barra com o mouse e clicar no botão direito. Aparece a caixa ativa “Diagrams for Frame”.

Consideração da fase construtiva:

Para proceder à consideração da fase construtiva é necessário ter o modelo global da estrutura definido. Admitindo o exemplo construído neste documento, será demonstrada a consideração da fase construtiva considerando 3 níveis de construção relativos aos 3 pisos do edifício.

Assim para proceder à definição das diferentes fases do processo construtivo a primeira ação é definir grupos que agrupam os elementos relativos a cada fase.

- a) Seleção dos elementos relativos ao piso 1;
- b) Menu “Assign” – “Assign to Groups”;
- c) Na janela de gestão de grupos, adicionar um novo grupo “add New Group”;
- d) Identificar o piso;
- e) Verificar que a opção “StaticNL Structure Stage” está selecionada”;
- f) Repetir o passo 1 a 5 para os outros 2 pisos;
- g) Definição de um novo caso de análise
Menu “Define” – “analysis cases”;
- h) “Add New Case”;
- i) Identificação do caso de carga;

- j) Selecionar no tipo de análise “Nonlinear Staged Construction”;
- k) Na definição das fases construtivas, definir 3 fases;
- l) Seleção de uma fase construtiva.

Na janela Data For Stage;

- m) Adicionar a estrutura relativa a essa fase;
- n) Adicionar os casos de carga que devem estar associados a essa fase construtiva;
- o) Repetir o passo l a n para as restantes fases definidas;
- p) Devem ainda ser tido em conta os resultados que se pretendem da análise e;

Na opção “Results Saved” – “Modify – Show”;

- q) Selecionar “end of Each Stage” para visualizar os resultados de cada fase construtiva definida.

Validação dos resultados

É fundamental proceder-se a verificações, durante e no fim da introdução dos dados, para reduzir a possibilidade de erros.

Os resultados obtidos com este programa ou com qualquer outra ferramenta de cálculo só devem ser considerados aceites depois de validados. Entenda-se por validação a verificação com recurso a meios simplificados dos resultados.

3.8.3 Método de Czerny

Baseado na teoria da elasticidade, Czerny elaborou tabelas para o cálculo de momentos fletores considerando um coeficiente de Poisson $\nu = 0$. Essas tabelas também abrangem os casos 1, 2A, 2B, 3, 4A, 4B, 5A, 5B e 6 conforme o anexo 1, os momentos de engastamento independem do coeficiente de Poisson, porém os momentos positivos variam de acordo com o valor do coeficiente de Poisson. Sendo assim, devem-se corrigir os valores dos momentos positivos obtidos pelas tabelas de Czerny com $\nu = 0$ para $\nu = 0,2$ conforme exigido pela NBR 6118:2014.

Assim sendo, as lajes podem também receber uma numeração que as diferenciam conforme as combinações de vínculos nas bordas.

As tabelas de Czerny, assim como os Casos de vinculações de lajes estão no Anexo 1.

Onde as letras e símbolos correspondem:

A_s = Area de aço (em cm^2);

$A_{s,min}$ = Area de aço mínima (em cm^2);

M_d = Momento de cálculo (em $\text{kN}\cdot\text{cm}$);

b = Comprimento da laje (em cm);

d = Altura útil da laje (em cm);

f_{cd} = Resistência de cálculo do concreto em (kN/cm^2);

f_{yd} = resistência de cálculo do aço em (kN/cm^2);

c = Cobrimento (em cm);

h = Altura da laje (em cm);

θ = Diâmetro da bitola do ferro (em mm);

a) Definição de α e β

Fazer uma relação entre os lados da laje, para definir se será armada em cruz ou em uma só direção.

Onde l_x e l_y correspondem:

l_x = menor lado da laje;

l_y = maior lado da laje;

Se $l_y \div l_x < 2$ laje armada em cruz; (3)

Se $l_y \div l_x > 2$ laje armada em uma só direção; (4)

b) Calcular os momentos:

Após encontrar os valores de α e β , usá-los nas fórmulas abaixo:

Onde “p” correspondem a carga que atua sobre a laje (em kN);

$$M_x = pl_x^2 \div ax \tag{5}$$

$$M_y = pl_x^2 \div ay \quad (6)$$

$$M'_x = pl_x^2 \div \beta x \quad (7)$$

$$M'_y = pl_x^2 \div \beta y; \quad (8)$$

- c) Fazer a compensação dos momentos negativos:

$$\text{É utilizado o maior valor entre: } 0,8 \times M' \text{ ou } (M'_x + M'_y) \div 2; \quad (9)$$

- d) Encontrar “d” para armadura positiva e negativa:

$$d = h - c - \emptyset \div 2 ; \quad (10)$$

- e) Encontrar a posição da linha neutra e o domínio em que se encontra:

$$LN - X = 1,25 \times d \times [1 - \sqrt{(1 - (M_d \div (0,425 \times b \times d^2 \times F_{cd})))]} \quad (11)$$

$$\text{Domínio } X_{23} = 0,259 \times d' \quad (12)$$

$$\text{Domínio } X_{34} = 0,628 \times d \quad (13)$$

$$\text{Encontrar também o x limite } X_{lim} = 0,45 \times d ; \quad (14)$$

- f) Encontrar a área de aço e área de aço mínima

$$A_{s,x,y} = M_d \div (f_{yd} \times (d - 0,4x)) \quad (15)$$

$$A_{s,min} = 0,67 \times \rho_{min} ; \quad (16)$$

- g) Repetir o passo para direção y;
h) Repetir o passo para todas as lajes;

- i) Fazer o mesmo processo para armadura negativa na passagem de uma laje para a outra;
- j) Definir o espaçamento dos aços;
- k) Fazer o resumo das lajes, contendo as áreas de aço, bitola e espaçamento;
- l) Fazer o detalhamento na planta;
- m) Listar os ferros e;
- n) Fazer um resumo geral do aço.

3.8.4 Teoria de Marcus

Segundo José Milton de Araújo, (2014. p106) o método de Marcus é bastante atrativo devido sua simplicidade e, principalmente, pela disponibilidade de soluções analíticas, o que facilita a implementação computacional. Entretanto, deve ser observado que o método considera a rigidez à torção das lajes. Se a laje for calculada por esse método, as reações de apoio não devem ser consideradas uniformemente distribuídas sobre as vigas. Neste caso, as vigas devem ser calculadas com as distribuições de reação de apoio. Além disso, é necessário dimensionar as armaduras de canto, nos cantos simplesmente apoiados das lajes. Em geral, basta adotar uma armadura de canto com área igual à da maior armadura positiva existente no centro da laje. O método de Marcus é um método simplificado que procura adaptar a teoria das grelhas para incluir os efeitos da torção da laje. Devido à rigidez à torção, os momentos fletores positivos e a flecha da laje ficam reduzidos em relação aos valores fornecidos pela teoria das grelhas.

Assim, no método de Marcus, os momentos fletores positivos no centro da laje, M_x e M_y , são dados pela equação:

$$M_{x0} = C_x M_x; M_{y0} = C_y M_y; \quad (17)$$

Onde:

M_x e M_y são os momentos fletores positivos calculados através da teoria das grelhas para lajes sobre apoios rígidos. Os coeficientes $C_x < 1$ e $C_y < 1$ dependem

das condições de contorno e da relação entre os vãos da laje, sendo dados pela equação:

$$C_x = 1 - 20kx \div 3ax\lambda^2; C_y = 1 - 20ky \div 3ay\lambda^2; \quad (18)$$

Onde:

K_x e K_y são coeficientes que definem os quinhões de carga e onde:

$$\lambda = K_x \div K_y. \quad (19)$$

Os coeficientes α_x e α_y dependem das condições de apoio nas duas direções.

Para uma direção geométrica, tem-se:

- a) Faixa bi apoiada: $\alpha = 8$
- b) Faixa engastada e apoiada: $\alpha = 14,22$
- c) Faixa bi engastada: $\alpha = 24$.

Obs. No TQS o operador designa faixas de armaduras de acordo com o momento e essas faixas depois de adaptadas do tamanho e comprimento de forma a atender os esforços solicitantes geram as armaduras.

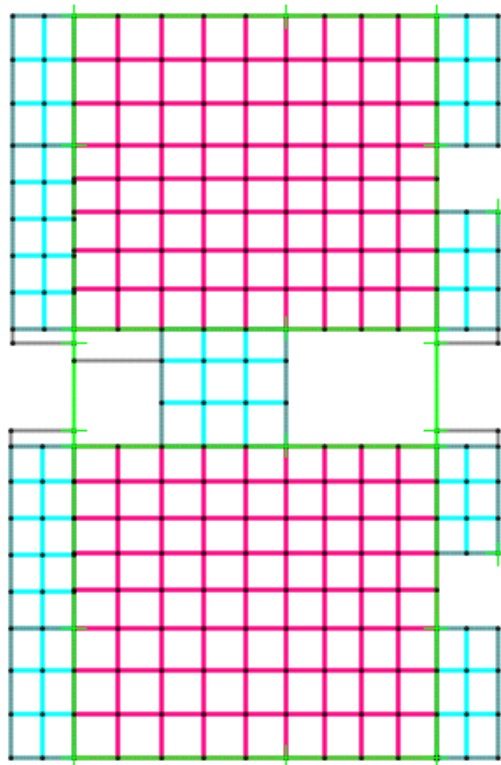
4. RESULTADOS

4.1 SAP2000

O modelo padrão estudado no SAP2000, nos apresentou uma série de resultados visuais, os quais observados nas figuras 17, 18, 19, 20, 21 e 22.

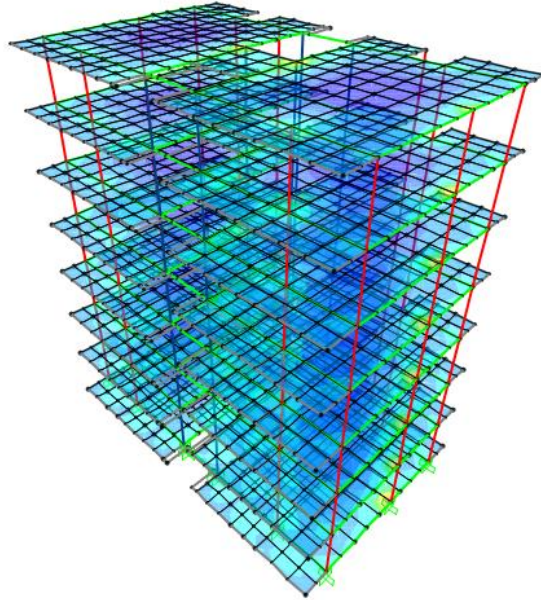
Essas figuras citadas demonstram o comportamento da estrutura em pórtico lançada minunciosamente no software, afim de obter resultados autênticos, com maior proximidade do real.

Figura 17: Lajes lisas, divididas em frações para obtenção da melhor análise nos vãos.



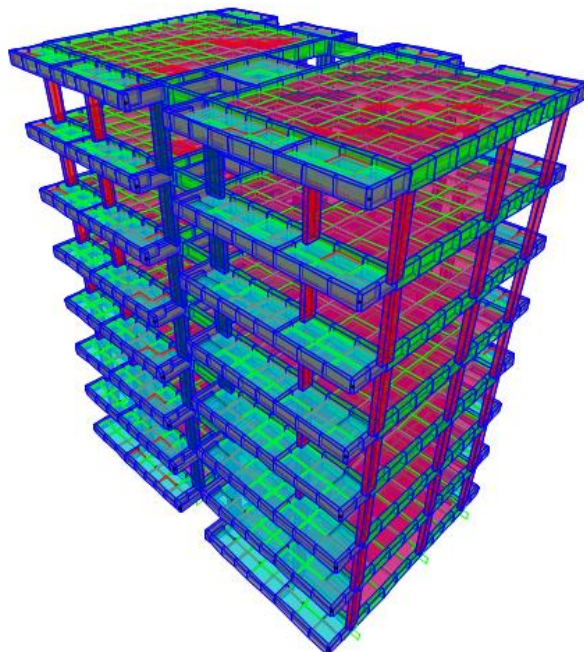
Fonte: (do autor).

Figura 18: Pórtico derivado de replicações de um pavimento do edifício ligado por pilares.



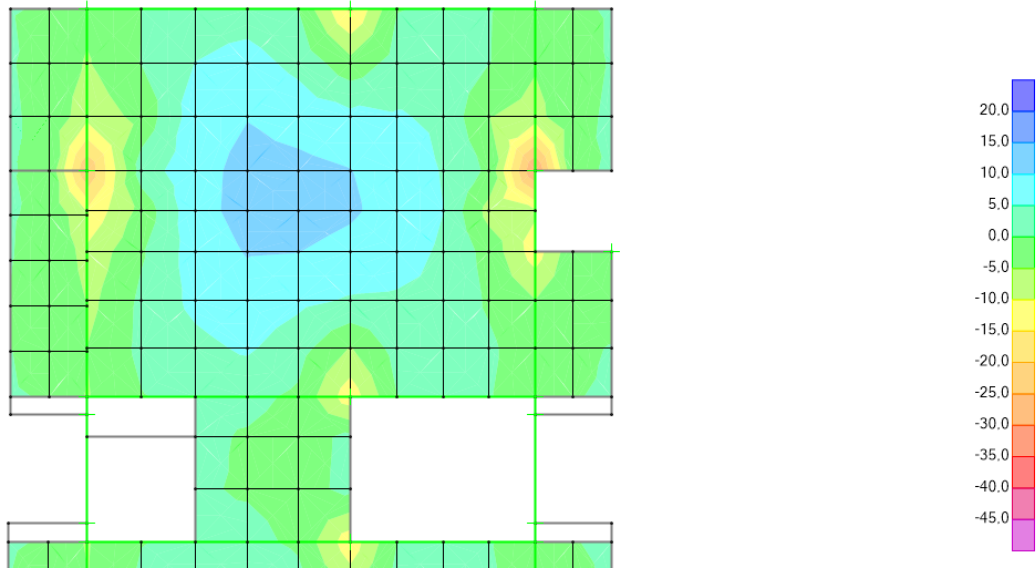
Fonte: (do autor).

Figura 19: Modelo extrudado do pórtico.



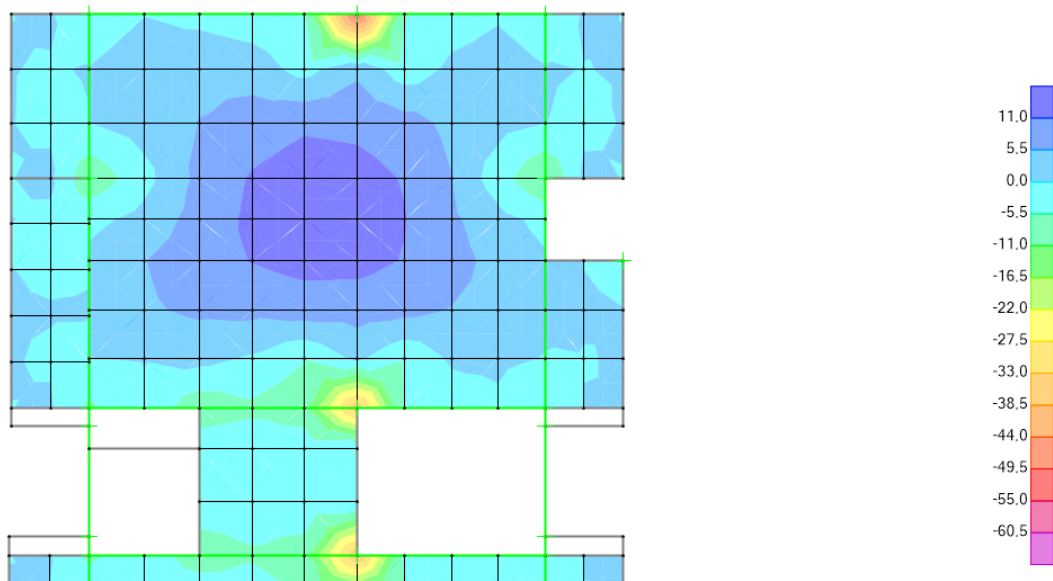
Fonte: (do autor).

Figura 20: Cores referente a deformação das lajes referente aos momentos na direção x.



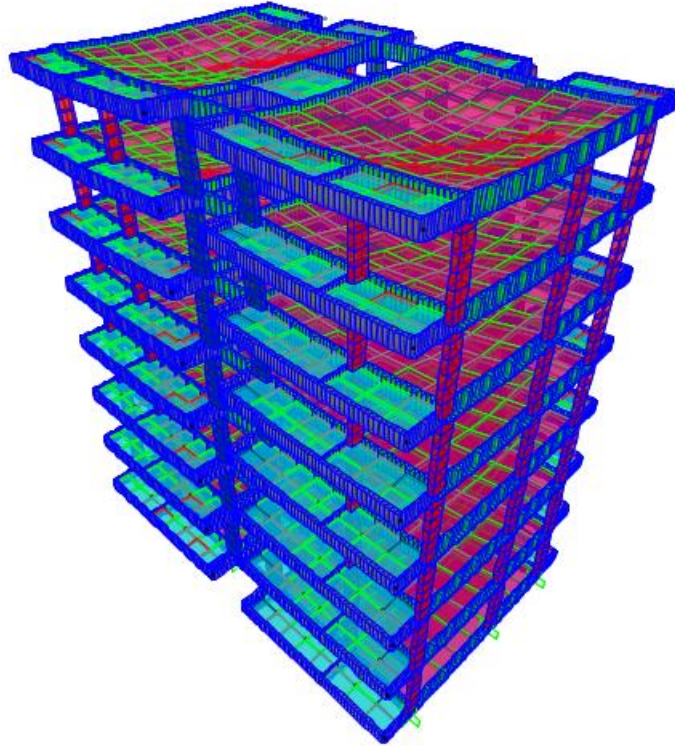
Fonte: (do autor).

Figura 21: Cores referente a deformação das lajes referente aos momentos na direção y.



Fonte: (do autor).

Figura 22: Pórtico com aplicação das deformações. Obs. exemplo meramente ilustrativos.



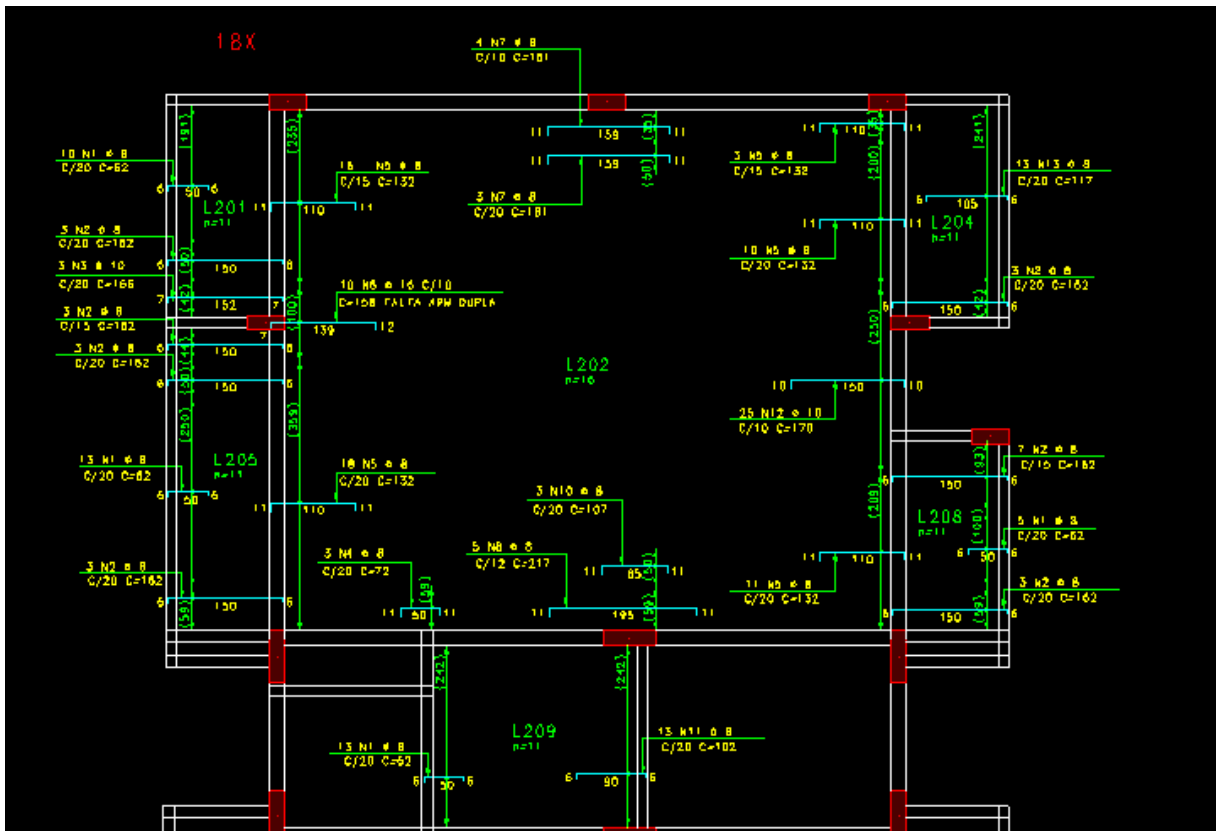
Fonte: (do autor).

4.2 TQS/CAD

O modelo padrão estudado no TQS/CAD, nos apresentou uma série de resultados visuais, além da armação pré-definida, gerada pelo próprio software, as quais observadas nas figuras 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29.

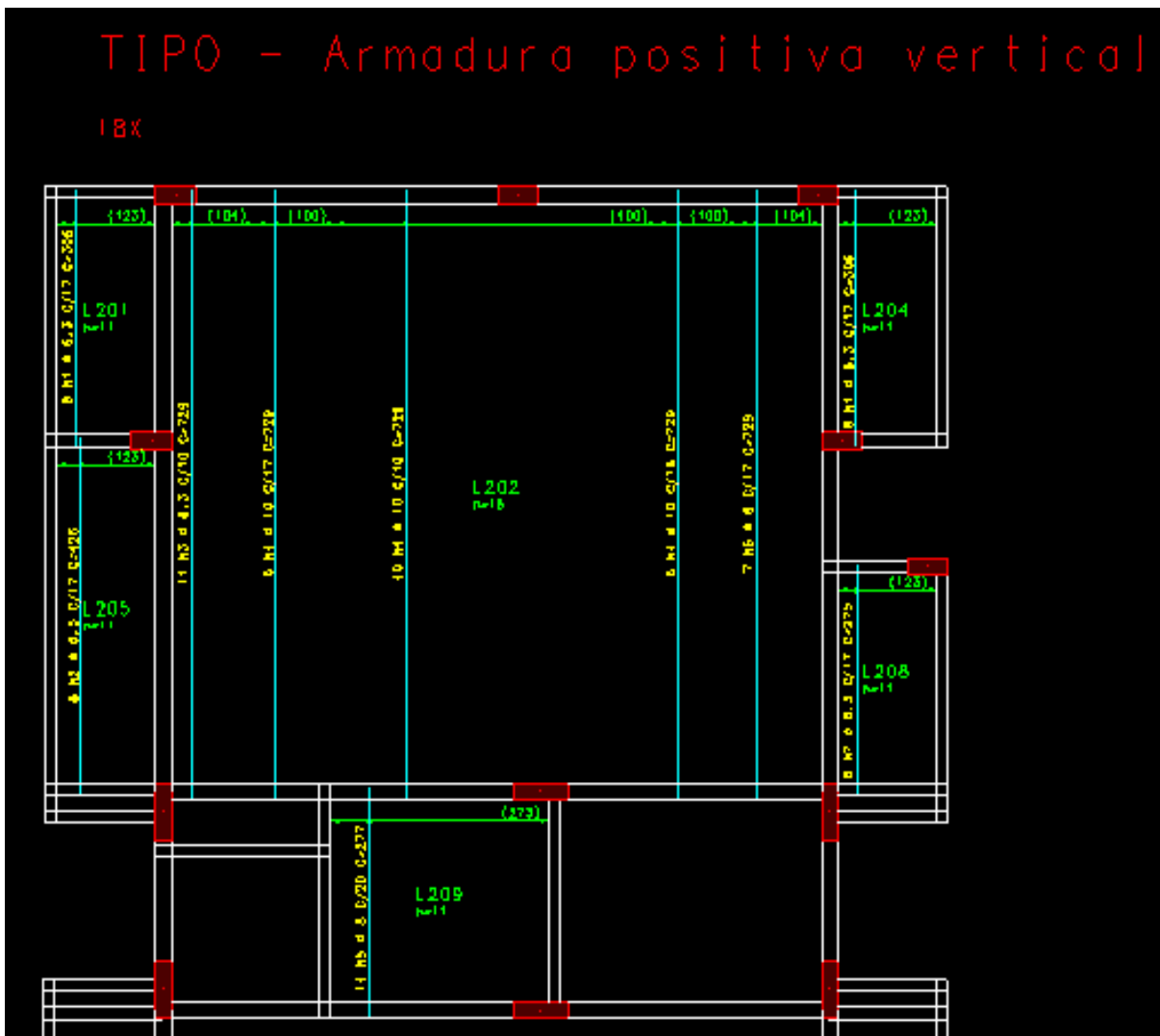
Essas figuras citadas demonstram o comportamento da estrutura em pórtico lançada minuciosamente no software, afim de obter resultados autênticos, com maior proximidade do real. E em relação as armações foram necessários ajustes manuais assistidas por um engenheiro.

Figura 23: Armação negativa horizontal.



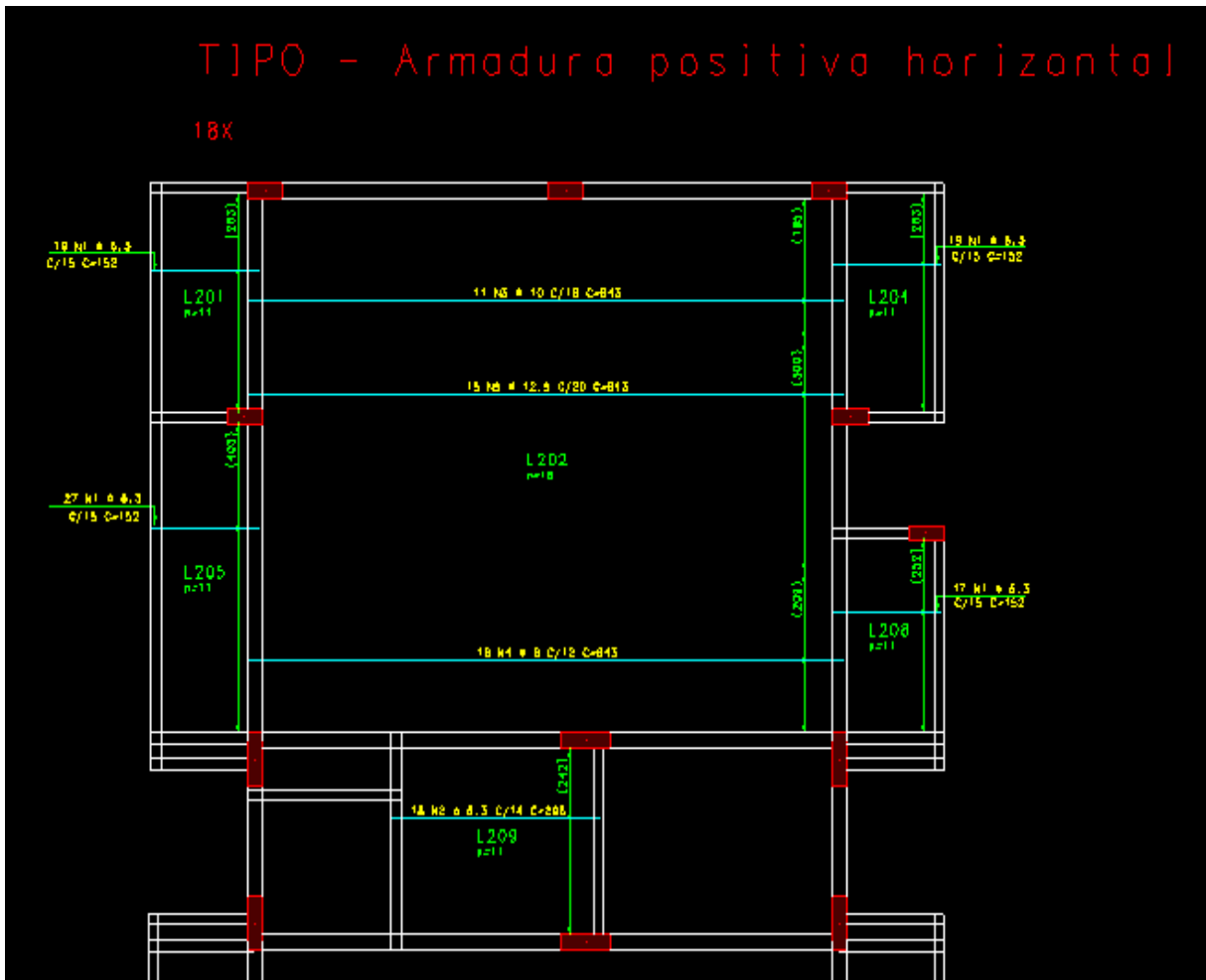
Fonte: (do autor).

Fonte 25: Armadura positiva vertical.



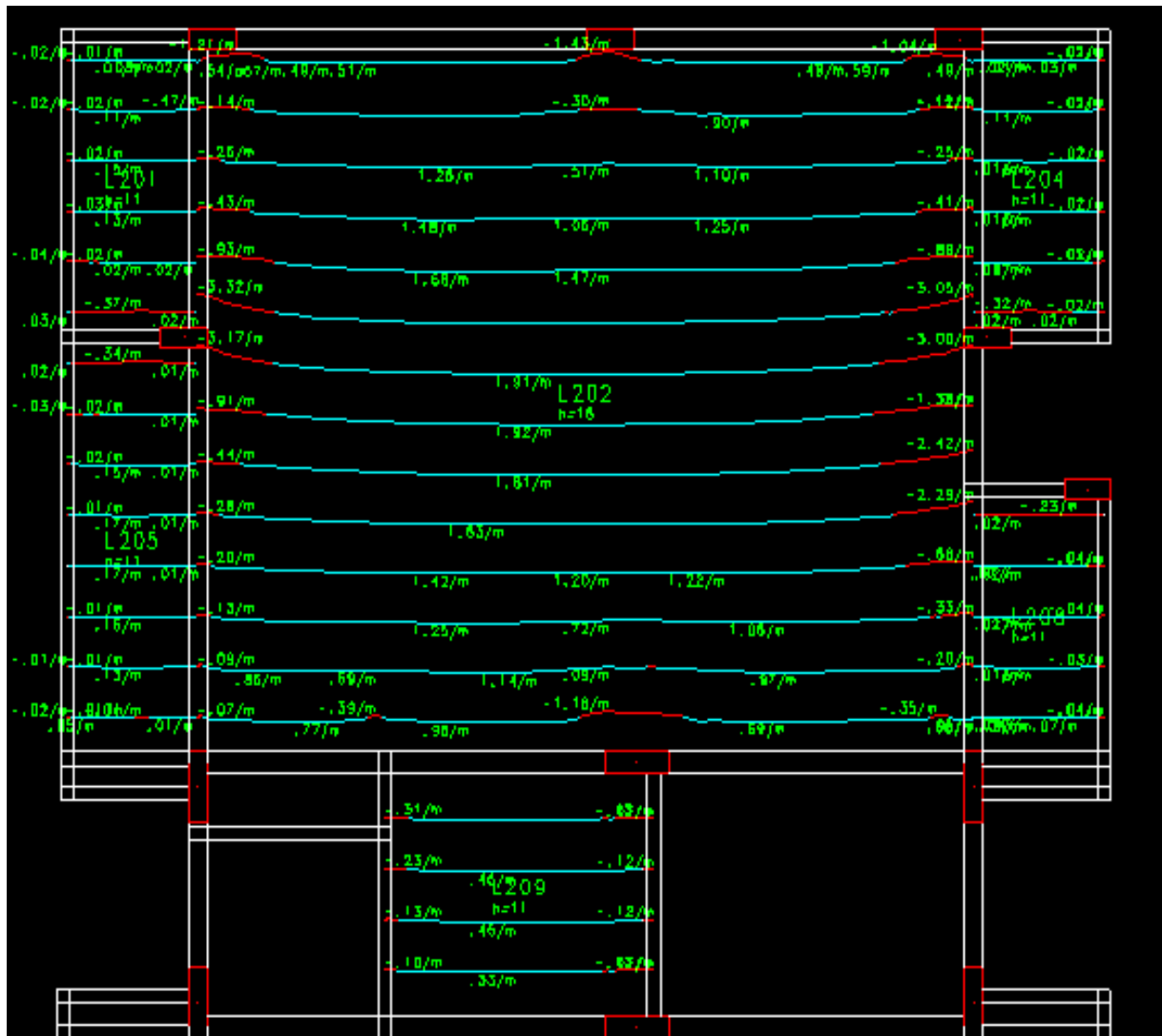
Fonte: (do autor).

Figura 26: Armadura positiva horizontal.



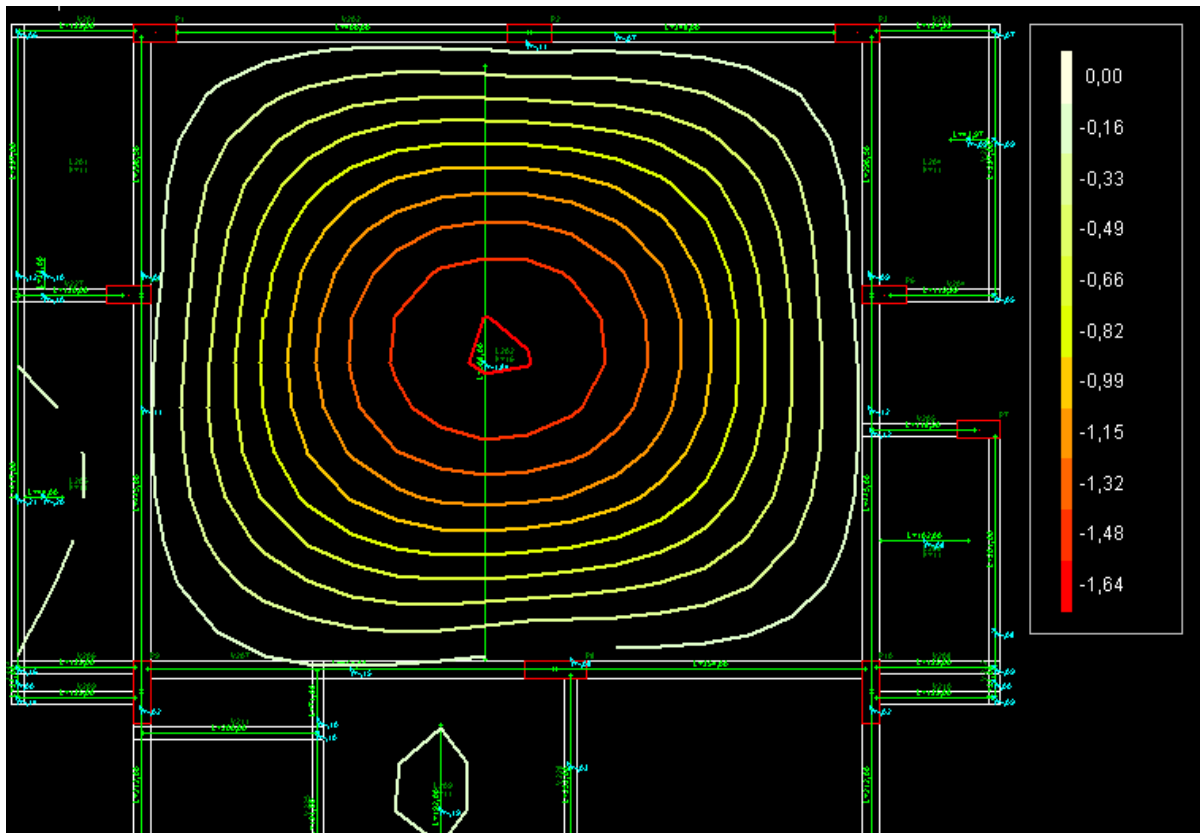
Fonte: (do autor).

Figura 27: Momentos horizontais.



Fonte: (do autor).

Figura 29: Flecha deferida final.



Fonte: (do autor).

4.3 CZERNY

As plantas de armação manual constam no Anexo 3, juntamente com os cálculos manuais digitalizados, onde observa-se o modo mais trabalhoso do método.

4.3.1 Resumo das lajes

Para a exibição das bitolas e espaçamentos calculados de acordo com área de aço, foi elaborado uma tabela que está inserida em forma de Figura 30.

Figura 30: Resumo das lajes de Czerny.

RESUMO DE LAJES		
LAJES	As (cm ² /m)	BITOLA E ESPAÇAMENTO
L201 = L214	Asx = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
	As _{sec} = 0,90	6,3 c/ 22,5 cm
L202 = L211	Asx = 6,96	12,5 c/ 17,5 cm
	Asy = 5,20	10,0 c/ 15,0 cm
L204 = L217	Asx = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
	As _{sec} = 0,90	6,3 c/ 22,5 cm
L205 = L210	Asx = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
	As _{sec} = 0,90	6,3 c/ 22,5 cm
L208 = L213	Asx = 1,21	6,3 c/ 22,5 cm
	Asy = 1,21	6,3 c/ 22,5 cm
L209	Asx = 1,21	6,3 c/ 22,5 cm
	Asy = 1,21	6,3 c/ 22,5 cm
L201 c/ L202 = L214 c/ L211	A's = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
L204 c/ L202 = L217 c/ L211	A's = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
L205 c/ L202 = L210 c/ L211	A's = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
L208 c/ L202 = L213 c/ L211	A's = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm
L209 c/ L202 = L209 c/ L211	A's = 1,84	6,3 c/ 15,0 cm
L205 c/ L201 = L210 c/ L214	A's = 1,80	6,3 c/ 17,5 cm

Fonte: (do autor).

4.4 RESUMO DE AÇO

Para a comparação do resumo de aço que compõem essa estrutura, foi elaborado uma tabela subscrita e foi inserida em forma de Figura 31, a qual demonstra valores de aço em (comprimento em metros, quilograma, e em relação a quantidade de concreto em quilograma por m³), e na Figura 32, o comparativo em forma de porcentagem.

Figura 31: Tabela comparativa de consumo de aço.

TABELA DE CONSUMO DE AÇO					
MANUAL - SIMPLIFICADO - CZERNY					
BITOLAS	6.3 mm	8.0 mm	10.0 mm	12.5 mm	TOTAL(m)
comprimento	4887,68	0	6359,04	5483,52	16730,24
kg	1222	0	4010	5484	15944
kg/m³	6,94	0	22,78	31,16	60,88
TQS/CAD					
BITOLAS	6.3 mm	8.0 mm	10.0 mm	12.5 mm	
comprimento	7026	8745	8742	2412	26925
kg	1744	3968	5392	2416	13520
kg/m³	9,91	22,54	30,63	13,72	76,8
SAP2000					
BITOLAS	6.3 mm	8.0 mm	10.0 mm	12.5 mm	
comprimento	3449,76	0	15712,64	1013,76	20176,16
kg	863	0	9899	1014	11776
kg/m³	4,9	0	56,24	5,76	66,9

Fonte: (do autor).

Figura 32: Tabela comparativa de aço em porcentagem.

RELAÇÃO DE CONSUMO		
TQS X SAP2000	TQS X CZERNY	SAP X CZERNY
12,90%	20,77%	9,03%

Fonte: (do autor).

4.4.1 Quantidade final de concreto para lajes

- a) Consumo de concreto = 176m³

CONCLUSÃO

Esse trabalho em sua primeira estância, defendia uma tese em que o software TQS/CAD, e SAP2000, seriam o mais econômico em relação ao consumo de aço.

Após os cálculos, vimos que em relação ao consumo de aço o método de Czerny foi o mais econômico, SAP2000 em segundo lugar e TQS, impressionantemente na terceira posição.

Se colocarmos em relação de produção, os valores são bem significativos. De forma contrária à economia do aço, a produção usando um software de ponta como TQS, que já nos dá um pré-dimensionamento e detalhamento da armadura, nos gera uma agilidade em projetos de médio e grande porte, com inúmeros pavimentos diferentes, economizando na mão de obra especializada. Já o SAP2000, nos fornece um dimensionamento fácil e eficaz, porém a armação tem que ser manual, nos custando maior gasto com mão de obra. Por último o método simplificado de Czerny, por mais que tenha mostrado uma economia final maior de material, se observa que vale o esforço e trabalho, em obras de pequeno porte, ou com pavimentos idênticos, (tipo).

Com os resultados obtidos, podemos concluir essa tese da seguinte forma:

- Um engenheiro recém-formado, só precisará adquirir um software caro igual TQS/CAD e SAP2000, em casos que a produção e otimização seja a maior prioridade, ou em casos de edificações complexas. Impossíveis para cálculos manuais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118 VERSÃO CORRIGIDA - Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7480, Segunda Edição – Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14432 – Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15200, Segunda Edição – Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto I – Lajes de Concreto. Curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2005.

BANKI, André Luiz; COELHO, Jano d'Araujo. Análise de lajes de concreto armado: parte I. AltoQi Tecnologia, 2009. Disponível em <http://www.altoqi.com.br/suporte/Eberickgold/Dimensionamento/lajes_de_concreto_armado_Intro.htm>. Acesso em: 08 out. 2012.

CARVALHO, Roberto Chust. Análise não – linear de pavimentos de edifícios de concreto através da analogia de grelha. 1994. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

Edith Silvana Amaury de Souza Tanaka. Material de construção de concreto armado 1. Universidade Santa Cecília – Unisantia, 2018.

Hugo Rodrigues. Análise de estruturas 3D com o programa SAP2000: Versão 11.0.4, 2008.

<https://profantoniorolimdotorg.files.wordpress.com/2016/04/tabelas-de-czerny-beton-kalender-1976-adaptadas-prof-rolim-final.pdf>

José Milton de Araújo. Curso de concreto armado: Volume 2. 4ª edição. Editora Dunas, 2014. Citação no texto.

José Milton de Araújo. Projeto estrutural de edifícios de concreto armado: Um exemplo completo. 3ª edição. Editora Dunas, 2014. Citação no texto.

ANEXOS

ANEXO 1:

Tabelas de Czerny e Casos de vinculações de lajes.

As seguintes tabelas foram retiradas do material de Beton Kalender (1976) e foram adaptadas pelo Professor Antonio Rolim.

- a) Casos de vinculações de lajes e;
- b) Tabelas de Czerny;

ANEXO 2:

Planta de Armações finais.

As plantas foram providas do lançamento e estudo do edifício padrão no modelo TQS/CAD, onde as armações estarão expressas em papel A1M na escala 1:60.

Armações pelo processo simplificado de Czerny de acordo com os cálculos.

As seguintes plantas expressas em papel A1M na escala 1:60, mostram as armações das lajes, determinadas manualmente pelo método de cálculo de Czerny, e os cálculos serão expressos digitalizados.