

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA NA SUPERESTRUTURA DE EDIFÍCIOS DE 10-21 PAVIMENTOS, EM CONCRETO ARMADO, COM DIFERENTES VALORES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.

FELLIPE FERREIRA BARBOSA¹
ROBERTO VASCONCELOS PINHEIRO¹
BRUNO RODRIGUES DOS SANTOS²

RESUMO: Este trabalho baseia-se no estudo de parâmetros que irão auxiliar na concepção, dimensionamento e quantificação da superestrutura de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado. Neste contexto, buscou-se: (i) avaliar a influência da utilização de classes de “fck”, entre 20 e 40MPa, para edifícios de 10 a 21 andares, referente ao consumo de materiais dos subsistemas estruturais; (ii) definir, através de aproximações matemáticas, o comportamento referente ao aumento/diminuição do consumo de materiais (aço, concreto e formas); (iii) propor parâmetros técnicos para as estruturas com relação 1:2, em planta. Foi verificado que para todas as propostas a utilização de classes de “fck” mais resistentes acarretou em uma economia considerável sendo que nos casos extremos a economia obtida chegou a 19,3% no consumo de Aço por metro cubico de concreto, no consumo de formas por metro cubico de concreto, seguiu com variação menor que 2%, já a espessura média variou cerca de 10%, relacionando o número de pavimentos e o “fck” de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Concepção estrutural, superestrutura, consumo de materiais.

TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS IN THE SUPERSTRUCTURE OF BUILDINGS 10-21 FLOORS, REINFORCED CONCRETE, WITH DIFFERENT VALUES OF COMPRESSIVE STRENGTH.

ABSTRACT: This work is based on the study of parameters that will assist in the design, sizing and quantification of the superstructure of buildings with multiple floors in reinforced concrete. In this context, we sought to: (i) to evaluate the influence of using classes "fck", between 20 and 40MPa for buildings 10-21 floors, referring to the material consumption of the structural subsystems; (ii) define, through approximations by means of mathematical functions, the behavior related to the increase / decrease in consumption of materials (steel, concrete and forms); (iii) propose technical parameters for structures

¹ Engenheiro Civil, UNEMAT, Av. dois Ingás , 3001 , Sinop- MT, CEP 78555-000.

² Professor, Curso de Engenharia Civil, FACULDADE FASIFE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: engenharia@fasipe.com.br

with 1:2 ratio in plant. It was found that for all proposals to use classes "fck" toughest resulted in considerable savings being that in extreme cases the savings reached 19,3% in the consumption of steel per cubic meter of concrete, the use of forms per cubic meter of concrete, followed less than 2% variation, since the average width was about 10%, relating the number of floors and the project "fck".

KEYWORDS: Structural design, superstructure, material consumption.

1. INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário vem apresentando um elevado crescimento no Brasil e, na região norte do Estado de Mato Grosso não é diferente. De acordo com Scheffler (2011), a cidade de Sinop-MT nos últimos 10 anos teve um aumento de 61,6% no número de alvarás expedidos. Com a ascensão da verticalização das construções, é perceptível a elevação da competitividade e, em contrapartida, a redução da margem de lucro em empreendimentos de edificações de múltiplos andares, com isso, os projetistas buscam meios para tornar a estrutura mais eficiente. Para tanto, a concepção estrutural aliada com a escolha certa da resistência característica a compressão (fck) pode trazer majoração nos lucros e ainda manter ou elevar a qualidade final da estrutura, (DOMBASI e VARGAS, 2011, p.1-2). Haja vista que, segundo Gionco (2007), o custo da estrutura pode variar de 20 a 25% do custo total da obra.

Ainda, se tratando do projeto estrutura de concreto armado, vale ressaltar que a concepção é uma das etapas mais importantes dentro deste contexto, pois atinge diretamente a segurança, a durabilidade e o custo do empreendimento, (GIONGO, 2007, p. 18-27). Segundo Rebello (2000) [...] não pode ser algo aleatório ou produto da vontade de cada um, deve-se respeitar vários fatores, tais como estética, custo, possibilidades construtivas, entre outros. Conforme este autor, para um mesmo projeto pode haver diversas formas de convergir em uma solução viável. Rebello (2000), afirma que para chegar nesta solução viável, o engenheiro projetista pode utilizar os mais diversos sistemas estruturais, sendo que, a elaboração da solução, vai depender do conhecimento teórico coadunado com criatividade e principalmente a experiência do profissional.

A ABNT NBR 6118:2007 salienta que esta convergência deverá assegurar os requisitos básicos de qualidade, sendo eles, os critérios de segurança, bom desempenho em serviço e durabilidade.

Segundo Diniz (2009, p. 11), atualmente, o concreto é o material mais utilizado, este fato ocorre devido a sua versatilidade. O concreto, desde seu surgimento, tem passando por diversas evoluções, dentre as quais, destacamos os métodos de moagem cada vez mais eficientes, aditivos, adições, entre outros componentes que influenciam na composição do produto. Considera-se que é possível explorar cada vez mais certas propriedades deste material, principalmente, a resistência característica à compressão (fck).

Portanto, neste trabalho foram considerados cinco diferentes valores de "fck", ou seja, 20, 25, 30, 35 e 40 MPa, aplicados para os concretos dos elementos da superestrutura (vigas, lajes e pilares). Além disso, outro fator relevante é a análise, com base na variação da quantidade de pavimentos. Desta forma, foram considerados edifícios com 10, 15 e 21 pavimentos tipo, com planta retangular, na relação aproximada de 1:2 entre as dimensões.

Finalmente, de acordo com as variações realizadas (fck e número de pavimentos) neste trabalho, obteve-se as possibilidades de aplicação do “fck” em relação ao número de pavimentos e, conseqüentemente, a sua influência no custo da superestrutura de edifícios de múltiplos andares.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Breve histórico

A origem do concreto se deu para substituir a pedra, tendo como principal vantagem o fato de ser material facilmente moldado.

Segundo Giongo (2007), a sua primeira utilização ocorreu a partir da metade do século XIX (1849), na França, quando Lambot utilizou-se o aço para suprir a deficiência à tração, através de um pequeno barco de concreto armado. No Brasil, a primeira obra foi uma ponte com 9m de vão, construída no Rio de Janeiro em 1908. No panorama histórico, uma das obras de maior destaque mundial, foi o edifício de 22 andares (“A Noite”), no Rio de Janeiro, concebido pelo engenheiro Baumgart.

2.2 Normatização

Todo projeto estrutural em concreto armado deve se orientar nas prescrições das normas técnicas: NBR 6118:2007 – Projeto de estruturas de concreto; NBR 6120:1980 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações; NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações e NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas. Tais normas devem ser seguidas para que se possa assegurar a estabilidade, a durabilidade e o bom funcionamento da edificação.

2.2.1 ABNT NBR 6118:2007

Projeto de estruturas de concreto, [...] fixa os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas simples, armado e protendido, excluindo aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais. Sendo aplicável a concretos normais, com massa específica maior que 2000 kg/m³, não excedendo 2800 kg/m³, todos do grupo de resistência I conforme a ABNT NBR 8953:2009, e estruturas não sujeitas a sismos, impactos, explosões e fogo. (ABNT NBR 6118, 2007, p. 1).

2.2.2 ABNT NBR 6120:1980

Cargas para cálculo de estruturas de edificações, [...] fixa as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja a classe e destino, salvo os casos previstos em normas especiais. (ABNT NBR 6120:1980, p. 1).

2.2.3 ABNT NBR 6123:1988

Forças devido ao vento em edificações, [...] fixa condições exigíveis na consideração das forças devidas á ação estática e dinâmica do vento, [...] sua aplicação é limita a edificações

em localizações e de formas comuns, sendo para casos excepcionais devem ser feitos estudos criteriosos. (ABNT NBR 6123, 1988, p. 1).

2.2.4 ABNT NBR 8681:2003

Ações e segurança nas estruturas, [...] fixa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas em projeto [...]. (ABNT NBR 8681, 2003, p. 1).

2.3 Propriedades dos materiais

2.3.1 Concreto

O concreto é um material heterogêneo definido pela mistura em proporção adequada de cimento, agregados e água. Afim de atender características específicas, pode-se utilizar de aditivos e adições minerais. (ARAÚJO, 2010).

Considerado um material deformável, a definição deste parâmetro, constitui-se pela contribuição de cada componente do mesmo. Um fenômeno corrente, a retração, é descrito como um processo reológico, em que mesmo com a ausência de ações externas, ocorre a redução de volume do material. Segundo Giongo (2007), poderá existir ainda o processo inverso, o de expansão, quando um elemento estiver em presença de água. Conforme o mesmo autor, as deformações também podem ser causadas por fatores externos (ações atuantes) e, essas deformações podem ser classificadas em deformações imediatas (instantâneas a aplicação do carregamento) e de fluência (acrécimo de deformação com o tempo, mantendo a tensão constante). Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência à compressão é a propriedade mais importante do concreto e pode ser obtida de acordo com a ABNT NBR 5739:2007. A idade de referência para o ensaio é de 28 dias, sendo que o parâmetro “ f_{ck} ” é definido como a resistência na qual existe uma chance de 95% de ser ultrapassada. A resistência à tração, também pode ser obtida através de ensaios, porém não é empregada diretamente nos cálculos estruturais (ELU).

Os concretos prescritos na ABNT NBR 6118:2007, variam da classe de resistência a compressão C-15 a C-50, sendo a classe C-15 aplicável apenas a elementos de fundação.

Outra propriedade fundamental são os módulos de elasticidade (longitudinal/transversal), que podem ser obtidos em ensaio descrito na ABNT NBR 8522:2003. Mas, em casos que não se tem este parâmetro, a ABNT NBR 6118:2007 permite que os mesmos sejam estimados.

2.3.2 Aço de armadura passiva

O aço é uma liga metálica composta principalmente de ferro e de pequenas quantidades de carbono, sendo elas de 0,002% a 2%. (PINHEIRO, 2007, p. 3.1).

De acordo com o valor de resistência de escoamento, as barras e fios de aço podem ser classificados nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60, sendo que todos os critérios para definição dos mesmos em projetos são descritos na ABNT NBR 7480:1996. Segundo ABNT NBR 6118:2007, o módulo de elasticidade pode ser admitido igual a 210 GPa.

2.4 Concepção estrutural

A definição de concepção estrutural, ou simplesmente estruturação, para Gionco (2007), consiste em escolher um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício. Nesta etapa é necessário que o engenheiro tenha objetivos definidos para o fim da estrutura como: economia, facilidades construtivas, estética, entre outros, sempre visando á compatibilização dos projetos.

No projeto de edifícios de vários pavimentos, Gionco (2007) defende que o lançamento da estrutura deve começar pelo pavimento, onde se procura manter a posição do subsistema vertical (pilares) com vão econômicos variando de 4 a 6 metros. Tal posicionamento deve respeitar todas as restrições do projeto arquitetônico e visar a estética da edificação. Sendo os pilares dispostos inicialmente nas áreas comuns, como, cantos da edificação, escadas, elevadores e corredores de acesso, o posicionamento dos demais deve ser feito de forma que possibilitem a locação de vagas de garagem, dos reservatórios superiores, entre outros fatores.

2.5 Ações e carregamentos em edifícios

Conforme a (ABNT NBR 8681, 2003, p. 2), *As ações são causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas.* Conforme o mesmo documento, as ações são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais, de acordo com sua variabilidade no tempo. Neste contexto as permanentes e variáveis, são abordadas nos itens que seguem:

2.5.1 Ações permanentes

As ações permanentes são classificadas pela (ABNT NBR 8681, 2003, p. 2) como ações [...] que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida útil da edificação [...]. Deste modo, estas ações são divididas em diretas e indiretas. As ações permanentes diretas são: peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes; equipamentos fixos/móveis e empuxos. Já as ações permanentes indiretas, são causadoras de deformações e provenientes da retração e fluência do concreto, do recalque das fundações e das imperfeições geométricas dos elementos.

2.5.2 Ações variáveis

Conforme a (ABNT NBR 8681, 2003, p. 2), *São as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média durante a vida útil da edificação.* De acordo com mesmo documento normativo, estas ações são classificadas em ações variáveis diretas (acidentais de uso, vento e água).

2.5.3 Carregamentos

A atuação destas ações em conjunto é verificada de acordo com a ABNT NBR 8681:2003. Combinações realizadas para verificação do Estado Limite Último (ELU) e de Serviço (ELS).

2.6 Análise estrutural

Para Gionco (2007), conhecido todos os esforços solicitantes na edificação, o processo pode se constituir de forma simplificada, com base nas indicações na ABNT NBR 6118:2007 ou por softwares especializados.

A partir do emprego de softwares, torna-se possível a realização da análise estrutural em 1ª ordem (estrutura indeformada) e de 2ª ordem (estrutura deformada). A susceptibilidade da estrutura a sofrer tais efeitos pode ser determinada pelo coeficiente “ γ_z ”.

2.6.1 Coeficiente “ γ_z ”

Segundo a ABNT NBR 6118:2007, este coeficiente também é usado para avaliar a susceptibilidade da deslocabilidade da estrutura, considerando, concomitantemente, as ações horizontais e verticais. Para valores de “ γ_z ” abaixo de 1,1, a estrutura pode ser considerada indeslocável (nós fixos), enquanto para valores superiores, considera-se estrutura deslocável, considerando assim os efeitos de segunda ordem global. Segundo Gionco (2007), este parâmetro pode ser considerado válido para o limite máximo de 1,3.

2.7 Dimensionamento e detalhamento

O dimensionamento e detalhamento das estruturas em concreto armado têm como principal subsídio as normas NBR 8681:2003, 6120:1980, 6123:1988 e NBR 6118:2007. Esta etapa consiste na verificação da estrutura perante o Estado Limite Último (dimensionamento e verificações) e o Estado Limite de Serviço (deslocamentos excessivos; abertura de fissuras).

2.8 Análise de custos dos insumos

Como forma de validar os valores das composições utilizadas neste trabalho, os mesmos foram obtidos através da tabela SINAP-MT (Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é respaldado em conhecimento específico com foco teórico, ou seja, adquirido através de normas da ABNT, livros, artigos, dissertações e teses. Dos quais foram base para compreender conceitos como: concepção e análise estrutural, comportamento das estruturas de concreto armado diante de carregamentos solicitantes e estabilidade global de edifícios. Além destes, para aplicação dos conceitos, foram empregados os softwares AltoQi Eberick V6 e o Microsoft Excel 2013. O primeiro forneceu os resultados das análises estruturais (locais e globais), das verificações do concreto armado e do quantitativo de materiais (concreto, aço e fôrmas). Enquanto o segundo organizou os resultados através de gráficos para melhor visibilidade dos resultados apurados na pesquisa.

O desenvolvimento deste trabalho acontece a partir de cinco etapas. Na primeira, foi definido o projeto arquitetônico, a partir de uma planta real, porém, readaptada às condições deste trabalho. A segunda etapa foi destinada à concepção estrutural (locação dos elementos estruturais) e definição dos carregamentos. Na terceira, através da utilização do software AltoQi Eberick V6, fez-se a análise estrutural, o dimensionamento e as verificações dos elementos estruturais, o detalhamento da armadura, bem como, determinou-se o quantitativo de insumos (concreto, aço e fôrmas). A quarta etapa foi destinada para a composição de custos dos materiais que compõem os

elementos estruturais estudados (pilares, vigas, lajes e escadas). Na última etapa, determinaram-se os parâmetros técnicos/econômicos do projeto.

3.1 Caracterização do projeto de estudo

A planta arquitetônica de um edifício residencial (ver Figura 1) utilizada para a elaboração do projeto estrutural foi readaptado pelo autor, obtendo-se um total aproximado de 250 m² por pavimento, com planta retangular, na relação aproximada de 1:2, entre as dimensões.



Figura 1: Planta arquitetônica - pavimento tipo. Fonte: O autor, 2014.

Foram idealizadas estruturas de 10, 15 e 21 pavimentos tipo, com altura de três metros entre lajes, utilizando-se o mesmo projeto e concepção estrutural. (Ver figura 2).

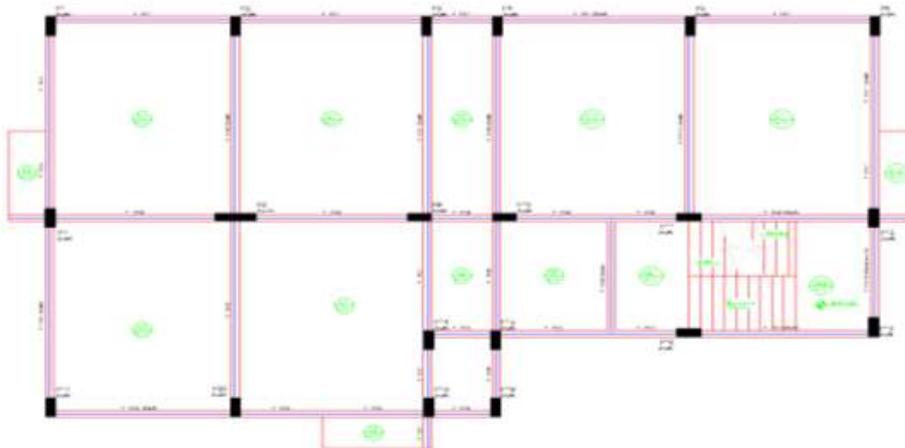


Figura 2: Planta de fôrmas - pavimento tipo. Fonte: O autor, 2014.

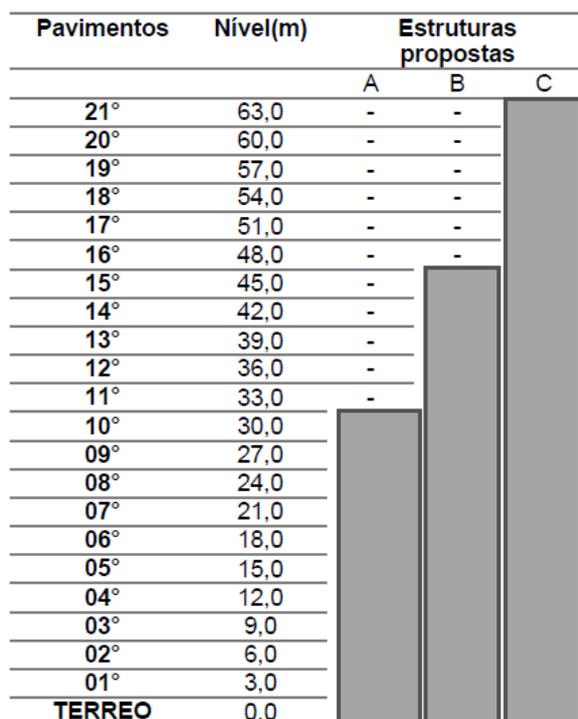


Figura 3: Níveis da estrutura. Fonte: O autor, 2014.

3.2 Concepção estrutural e ações

A concepção estrutural adotada para a elaboração dos projetos foi a mesma, independentemente do número de pavimentos. Em função dos esforços, houve alterações das dimensões de alguns elementos estruturais. De acordo com recomendações observadas nas referências bibliográficas, sabendo-se ainda que estas sejam consagradas no meio técnico, fez-se em princípio, o posicionamento dos pilares a partir do pavimento térreo, respeitando as limitações impostas pelo projeto arquitetônico. Inicialmente, esta etapa foi realizada pelo contorno do edifício, visando o alinhamento dos mesmos em ambas as direções (“x” e “y”), com prioridade na formação dos pórticos de contraventamento. Posteriormente, foram lançados os demais pilares, internos à planta. A posição dos pilares, em relação aos seus eixos, foi concebida de forma que, o momento de inércia preponderante ficasse posicionado na direção mais desfavorável da torre, fato que gerou maior estabilidade à estrutura. Também enfatizou-se a distância entre os pilares, de forma que, os vãos gerados para as vigas fossem entre 5,0 e 6,5m.

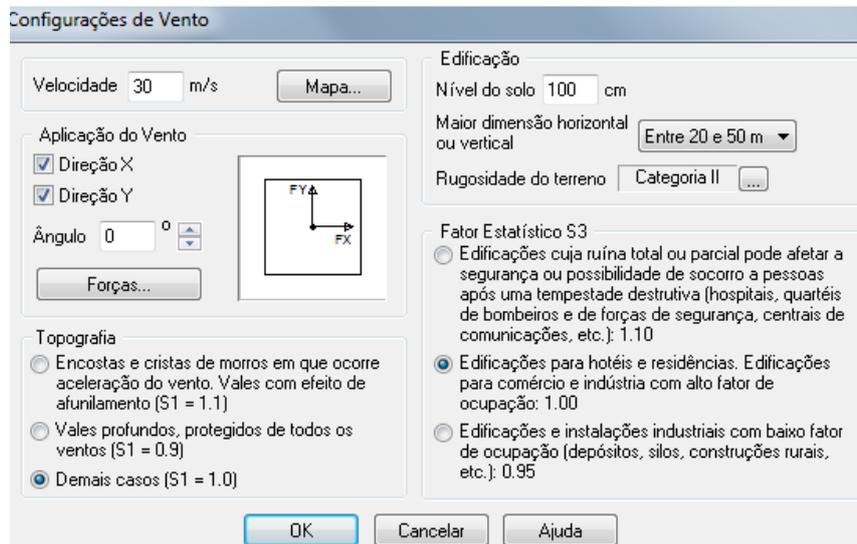
Partindo das diretrizes de projeto, preconizadas na ABNT NBR 6118:2007 e ABNT NBR 6120:1980, foram definidas as ações atuantes verticais. Para as lajes, além do peso próprio (calculado pelo software), foram definidas as ações variáveis (sobrecarga de utilização): 1,5 kN/m² para dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiros e 2kN/m² para despensas, área de serviço e lavanderia, o carregamento permanente não estrutural (revestimento) adotado foi de 0,8kN/m².

Nas vigas, além do peso próprio e as reações de apoio transmitidas pelas lajes, tem-se o peso próprio das paredes, considerando as seguintes características: altura (2,4 m), espessura (0,15 m) e peso específico do tijolo cerâmico (13,0 kN/m³). Os pilares, foram consideradas as seguintes ações: peso próprio (definido pelo software) e as reações de apoio das vigas.

Para as ações horizontais, devido aos efeitos do vento, foram seguidos os critérios preconizados na ABNT NBR 6123:1988. Para definir o efeito do vento na

edificação, é necessário, em princípio, calcular a Pressão Dinâmica (q). Para tanto, definiu-se inicialmente a Velocidade Básica do Vento ($V_0 = 30$ m/s) - considerando a região Centro-Oeste, bem como seus Fatores ($S_1=1$; S_2 ; $S_3=1$). O fator S_2 foi calculado automaticamente pelo software de acordo com o item 5.3 da ABNT NBR 6123.

Para calcular a força devida ao vento em edifícios, além do parâmetro “ q ”, devem-se determinar os Coeficientes de Arrasto (“ x ” e “ y ”), com base na ABNT NBR 6123:1988.



A Figura 4 ilustra alguns dos valores mencionados acima.

3.3 Análise estrutural e dimensionamento dos elementos estruturais

Os parâmetros para a análise da estabilidade, foram adotados conforme ABNT NBR 6118:2007. Para o concreto, adotaram-se as seguintes propriedades: abatimento (slump) 8,0 cm; peso específico 25 kN/m³; agregado graúdo de origem granítica. O aço utilizado é classificado em CA-50 e CA-60, conforme a ABNT NBR 7480:2007. Neste trabalho, foram empregados das seguintes maneiras: pilares com aço CA-50 e CA-60; vigas e lajes, com aço CA-50.

De acordo com a Tabela 6.1 do item 6.4.2 da ABNT NBR 6118:2007, consideramos classe de agressividade ambiental II, com exceção ao processamento para “ f_{ck} ” 20 MPa que de acordo com o mesmo documento normativo, só poderá ser utilizado para lajes, vigas e pilares, quando expostos a classe de agressividade ambiental I.

A obtenção dos resultados das análises de 1ª e 2ª ordem da estrutura foram feitos de acordo com os parâmetros para avaliação de estabilidade “ α ” e coeficiente “ γ_z ”, sendo que tal verificação foi feita de acordo com o item 15.4.1 e 15.4.2, da ABNT NBR 6118:2007, respectivamente. Para valores “ γ_z ” não superior a 1,1 (10% dos efeitos de 1ª ordem), os efeitos globais de 2ª ordem foram desconsiderados. Em contrapartida, valores de “ γ_z ” acima de 1,1 e não superior a 1,3, a estrutura foi analisada pelo processo numérico P- Δ , considerando os efeitos de globais 2ª ordem.

As considerações de não linearidade física dos elementos estruturais foram feitas de acordo com o item 15.6.2 ABNT NBR 6118:2007. O critério para apresentar os resultados das análises do subsistema vertical, foi a relação $M_{solicitante}/M_{resistente}$. A partir deste ponto, foi realizado o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais. Quanto aos Estados Limites de Serviço, foram verificados os estados limites de deformação excessiva (deslocamentos verticais e horizontais, limitados em $L/250$ e

L/1700, respectivamente) e de fissuração aceitável ($\leq 0,3\text{mm}$). Todos os cálculos foram realizados pelo software, em acordo com ABNT NBR 6118:2007.

3.4 Composição de custo

Para o concreto do tipo usinado, a composição unitária, incluindo lançamento e adensamento, tiveram como referência a tabela SINAPI-MT. O mesmo foi considerado para os valores do aço e das fôrmas, ambos compostos com mão-de-obra e equipamentos. A Tabela 1 mostra, sinteticamente, os valores adotados.

Tabela 1. Tabela sintética segundo SINAPI-MT.

COMPOSIÇÃO	VALOR UNITARIO
Aço CA-50 (kg)	R\$ 5,87
Aço CA-60 (kg)	R\$ 6,30
Concreto 20MPa (m^3)	R\$ 358,04
Concreto 25MPa (m^3)	R\$ 382,68
Concreto 30MPa (m^3)	R\$ 414,05
Concreto 35MPa (m^3)	R\$ 431,92
Concreto 40MPa (m^3)	R\$ 449,79
Forma (m^2)	R\$ 25,61

Fonte: O autor, 2014.

3.5 Parâmetros técnico-econômicos

A análise dos resultados ficou caracterizada por duas vertentes, técnica e econômica, cujo objetivo foi fornecer subsídios aos profissionais da área técnica, bem como aos potenciais investidores, de tal modo que, possam tomar decisões com maior segurança. Os parâmetros técnico-econômicos relevantes deste trabalho apresentam as seguintes relações: $\text{kgaço}/\text{m}^3\text{concreto}$; $\text{m}^2\text{Formas}/\text{m}^3\text{Concreto}$; $\text{R}\$\text{Total}$; $\text{R}\$/\text{m}^2\text{área construída}$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estrutura proposta “A”

4.1.1 Consumo de materiais $\text{kgaço}/\text{m}^3\text{concreto}$

A figura 5 mostra a relação $\text{kgaço}/\text{m}^3\text{concreto}$ para os subsistemas estruturais.

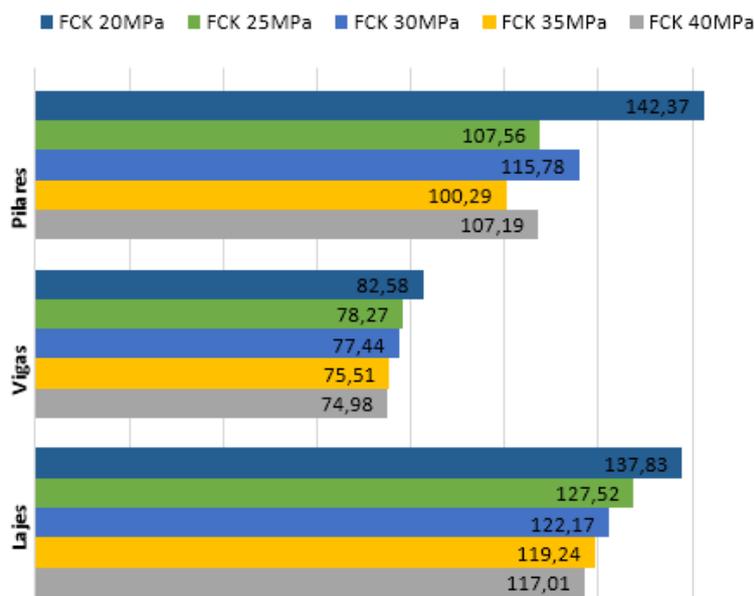


Figura 5: consumo por subsistema estrutural (kg aço/m³ concreto), proposta “A”. Fonte: O autor, 2014.

Da figura 5 percebe-se que para valores de “fck” menores aplicados nos subsistemas horizontais, o consumo de aço aumenta. Este fato ocorre para manter o equilíbrio interno, entre concreto e aço. Vale ressaltar que as dimensões destes subsistemas foram mantidas constantes, a fim de preservar o critério comparativo. Ainda na figura 5, comparando-se a relação entre extremos (40 e 20 MPa) para lajes e vigas o consumo obteve uma diminuição de 17,8%, e 10% respectivamente. Nos subsistemas verticais, esta relação oscila. Este fato deve-se a variação da seção transversal dos pilares, bem como do grau de mobilização da resistência dos materiais (relação $M_{solicitante}/M_{resistente}$). Para os pilares, a maior redução foi para “fck” 35 MPa, atingindo 41,9% menor, em comparação ao “fck” 20 MPa. O consumo global é observado pela figura 6.

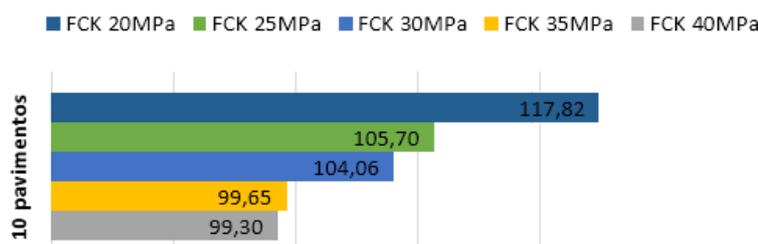


Figura 6: consumo global (kg aço/m³ concreto), proposta “A”. Fonte: O autor, 2014.

Na análise global fica evidenciada a diminuição no consumo de aço para classes mais resistentes de “fck”. Comparando-se os extremos, foi verificado uma diminuição de 18,65% em relação ao uso de “fck” 40MPa. A partir do consumo total de concreto e considerando a área do edifício em estudo, obtém-se a estimativa da espessura média igual a 0,155 m. A diferença entre as espessuras médias, considerando os valores extremos de “fck”, foi inferior a 4%.

Quanto às formas, verificou-se a relação média de 11,75 m² Formas/m³ concreto. Vale ressaltar que a diferença desta relação entre os valores extremos de “fck” foi inferior a 2%.

4.1.2 Consumo de recursos financeiros

Abaixo é mostrado o consumo de recursos financeiros, em relação aos subsistemas.

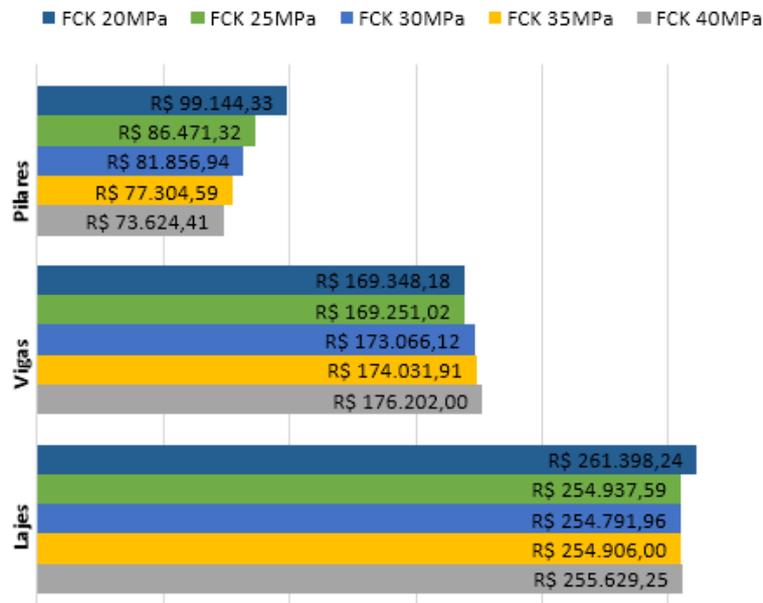


Figura 7: custo por subsistema estrutural, proposta “A”. Fonte: O autor, 2014.

Para custo de materiais, no subsistema vertical, verificou-se que há proporcionalidade entre o consumo da armadura e o custo, Com o aumento do “fck”, chega-se a uma economia aproximada de 35%. Nos subsistemas horizontais, a variação é inferior a 5%. O custo global é dado conforme as figuras 8 e 9.

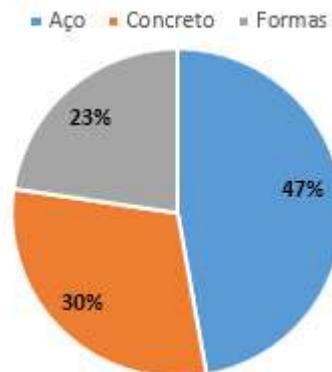


Figura 8: contribuição no custo por material, proposta “A”. Fonte: O autor, 2014.

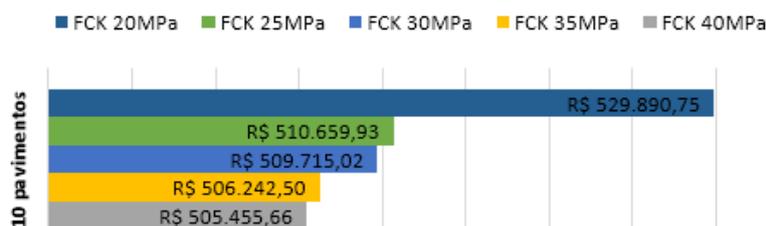


Figura 9: Custo global, proposta “A”. Fonte: O autor, 2014.

Em análise à figura 9, verificou-se que, mesmo com o concreto “fck” 40 MPa tendo o custo cerca de 26% mais elevado em relação ao “fck” 20 MPa, obteve-se uma redução de 5% no custo global. A figura 10 relaciona o custo com a área construída, com uma diferença máxima de 5%.

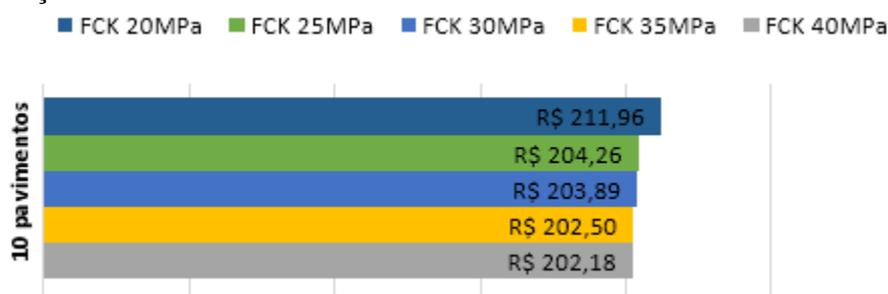


Figura 10: Custo R\$/m² área construída, proposta “A”. Fonte: O autor, 2014.

4.2 Estrutura proposta “B”

4.2.1 Consumo de materiais kg aço/m³ concreto

A figura 11 mostra a relação kg aço/m³ concreto para os subsistemas estruturais.

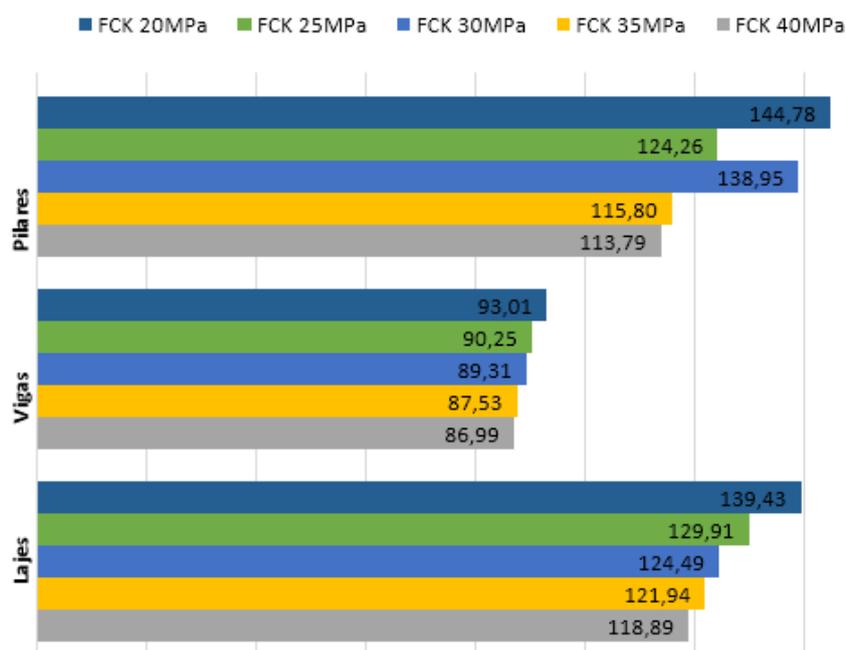


Figura 11: consumo por subsistema estrutural (kg aço/m³ concreto), proposta “B”. Fonte: O autor, 2014.

Da figura 11 Comparando-se a relação entre extremos (40 e 20 Mpa), nas vigas e lajes o consumo obteve uma diminuição de 17,3%, e 7% respectivamente. No caso dos pilares, a diminuição foi de 27,3%. O consumo global é observado pela figura 12.

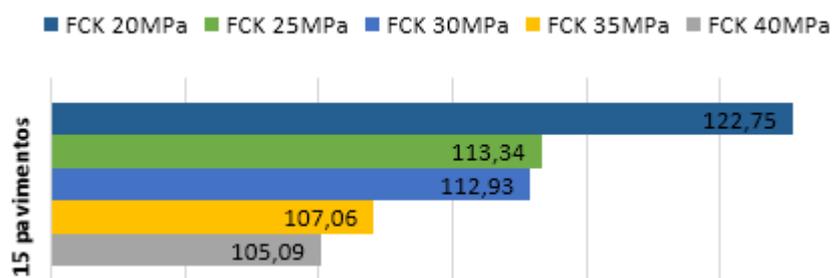


Figura 12: consumo global (kg aço/m³ concreto), proposta “B”. Fonte: O autor, 2014.

Assim como na proposta anterior as classes resistentes de “fck”, se mostram mais eficientes na diminuição do consumo de materiais, comparando-se os extremos a diminuição foi de 16,8% em relação ao uso de “fck” 40MPa. A partir do consumo total de concreto e considerando a área do edifício em estudo, obtém-se a estimativa da espessura média igual a 0,173m. A diferença entre as espessuras médias, considerando os valores extremos de “fck”, foi de aproximadamente 6%. Quanto às formas, verificou-se a relação média de 11,48 m² Formas/m³ concreto. Vale ressaltar que a diferença desta relação entre os valores extremos de “fck” foi inferior a 2%, assim como a proposta anterior.

4.2.2 Consumo de recursos financeiros

Abaixo é mostrado o consumo de recursos financeiros, em relação aos subsistemas.

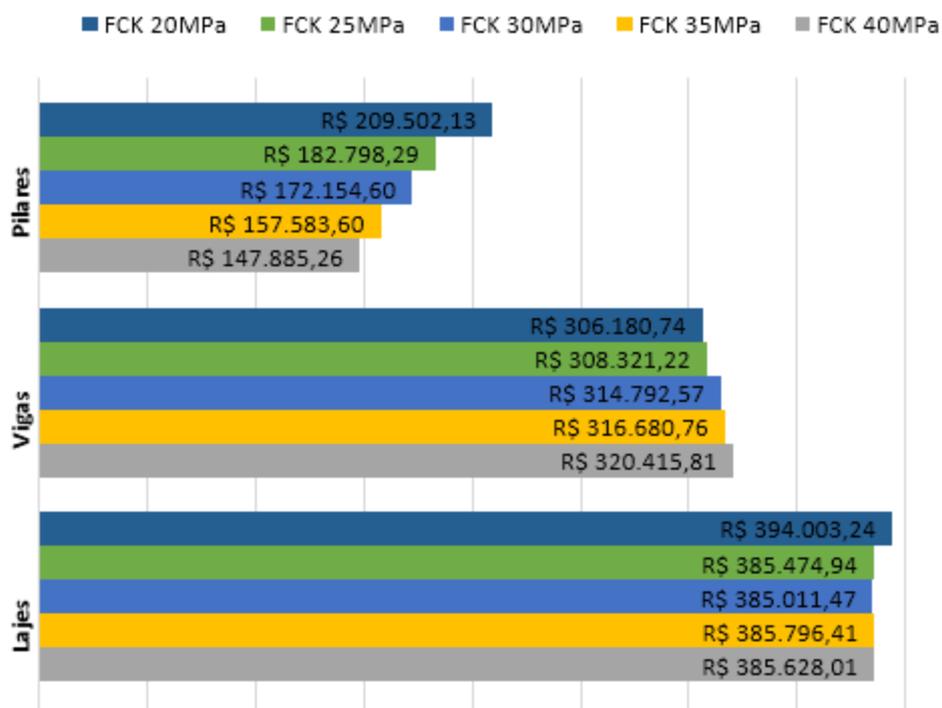


Figura 13: Custo por subsistema estrutural, proposta “B”. Fonte: O autor, 2014.

Para o subsistema vertical, verificou-se que há proporcionalidade entre o consumo da armadura e o custo, relacionado ao “fck”. Com o aumento do “fck”, chega-se a uma economia aproximada de 41,7%. Para os subsistemas horizontais, a variação no

custo é inferior a 5%. A parcela de contribuição dos materiais no custo global é dado conforme figuras 14 e 15.

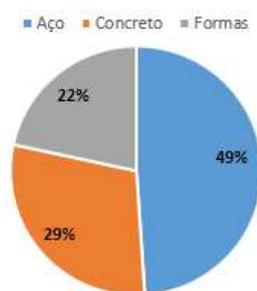


Figura 14: contribuição no custo por material, proposta “B”. Fonte: O autor, 2014.



Figura 15: Custo global, proposta “B”. Fonte: O autor, 2014.

Em análise à figura 15, verificou-se que, com o uso de “fck” 40 MPa obteve-se uma redução de 6,55% no custo global. A figura 16 relaciona o custo com a área construída, com uma diferença máxima de 6,5%.

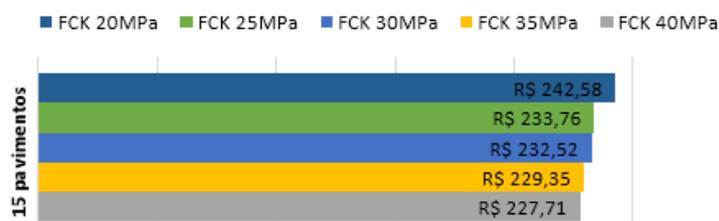


Figura 16: Custo R\$/m² área construída, proposta “B”. Fonte: O autor, 2014.

4.3 Estrutura proposta “C”

4.3.1 Consumo de materiais kgaço/m³concreto

A figura 17 mostra a relação kgaço/m³concreto para os subsistemas estruturais.



Figura 17: consumo por subsistema estrutural (kgaço/m³concreto), proposta “C”. Fonte: O autor, 2014.

Da figura 17 percebe-se, assim como nas propostas anteriores que, para valores de “fck” menores aplicados nos subsistemas horizontais, o consumo de aço aumenta. Nos subsistemas verticais a variação continua. Comparando-se a relação entre extremos (40 e 20 Mpa), nas vigas e lajes o consumo obteve uma diminuição de 17,7%, e 9% respectivamente. No caso dos pilares, a diminuição foi de 35%. O consumo global é observado pela figura 18 é de 19,3% em relação ao uso de “fck” 40MPa.

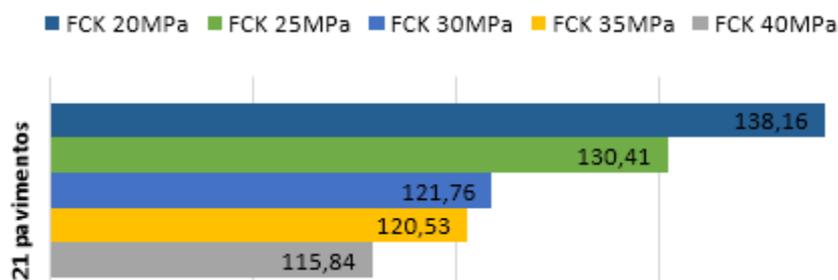


Figura 18: consumo global (kgaço/m³concreto), proposta “C”. Fonte: O autor, 2014.

A partir do consumo total de concreto e considerando a área do edifício em estudo, obtém-se a estimativa da espessura média igual a 0,182m. A diferença entre as espessuras médias, considerando os valores extremos de “fck”, foi de aproximadamente 9%. Quanto às formas, verificou-se a relação média de 11,26 m²Formas/m³concreto. Vale ressaltar que a diferença desta relação entre os valores extremos de “fck” foi de aproximadamente 2,3%.

4.3.2 Consumo de recursos financeiros

Abaixo é mostrado o consumo de recursos financeiros, em relação aos subsistemas.

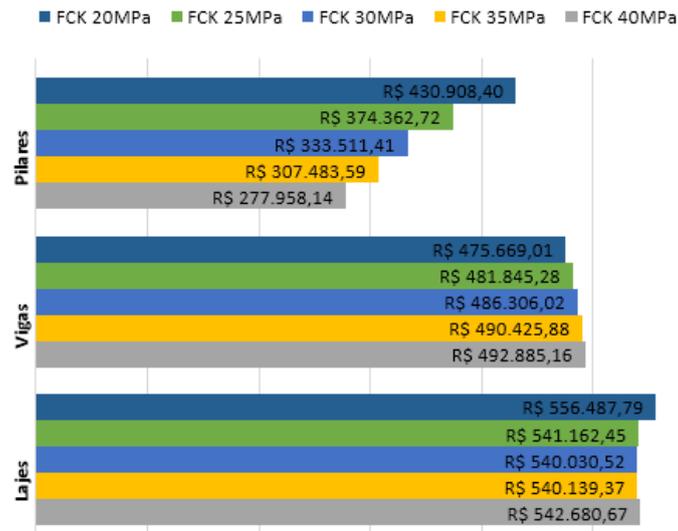


Figura 19: Custo por subsistema estrutural, proposta “C”. Fonte: O autor, 2014.

Para o subsistema vertical, verificou-se com o uso de “fck” 40MPa, chega-se a uma economia aproximada de 55%. Para os subsistemas horizontais, a variação no custo é inferior a 5%. A parcela de contribuição dos materiais no custo global é dado conforme figuras 20 e 21.

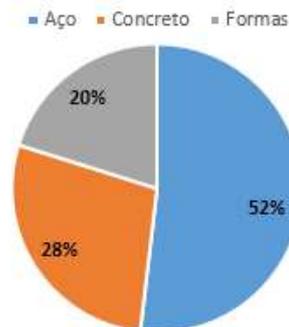


Figura 20: contribuição no custo por material, proposta “C”. Fonte: O autor, 2014.

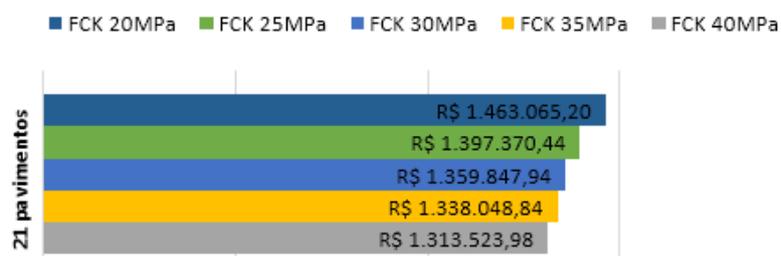


Figura 21: Custo global, proposta “C”. Fonte: O autor, 2014.

Em análise à figura 21, verificou-se que, com o uso de “fck” 40 MPa obteve-se uma redução de 11,3% no custo global. A figura 22 relaciona o custo com a área construída, com uma diferença máxima de 6,5%.

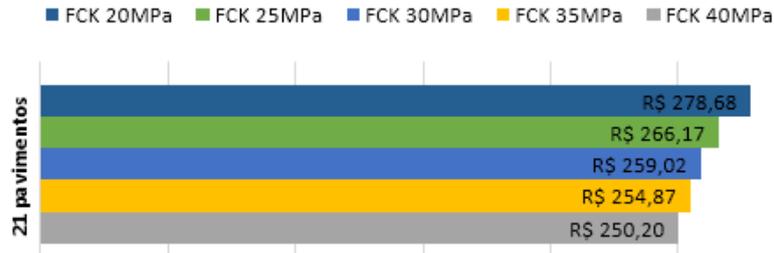


Figura 22: Custo R\$/m² área construída, proposta “C”. Fonte: O autor, 2014.

4.4 Relações entre propostas

4.4.1 Consumo kgaço/m³ concreto

Abaixo é mostrado a tendência do consumo kgaço/m³ concreto, com a evolução do número de pavimentos.

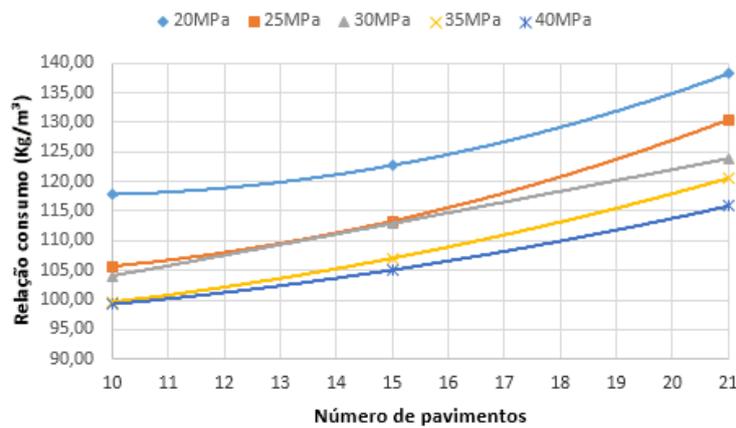


Figura 23: Consumo kgaço/m³ concreto. Fonte: O autor, 2014.

4.4.2 Espessura média do pavimento

Abaixo é mostrado a tendência de aumento da espessura média do pavimento.

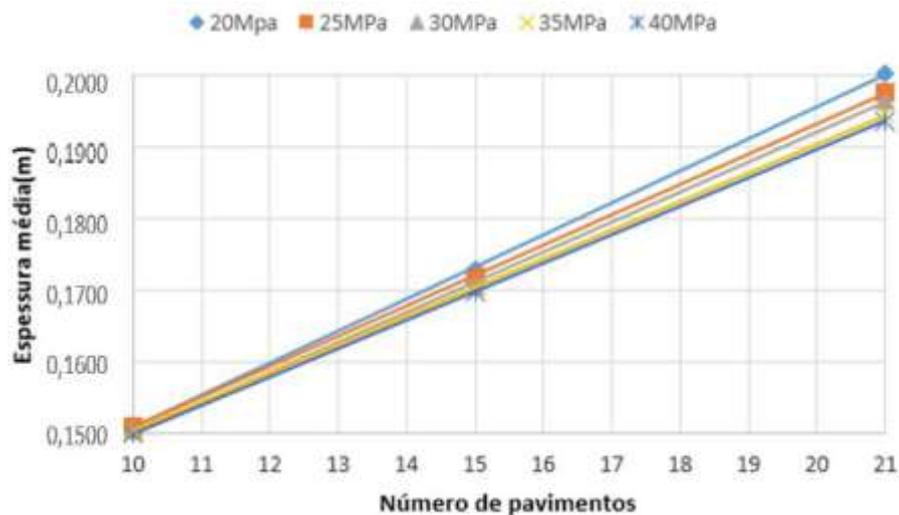


Figura 24: tendência de aumento da espessura média do pavimento. Fonte: O autor, 2014.

4.4.3 Consumo m²Formas/m³concreto

Abaixo é mostrado a tendência do consumo m²Formas/m³concreto, com a evolução do número de pavimentos.

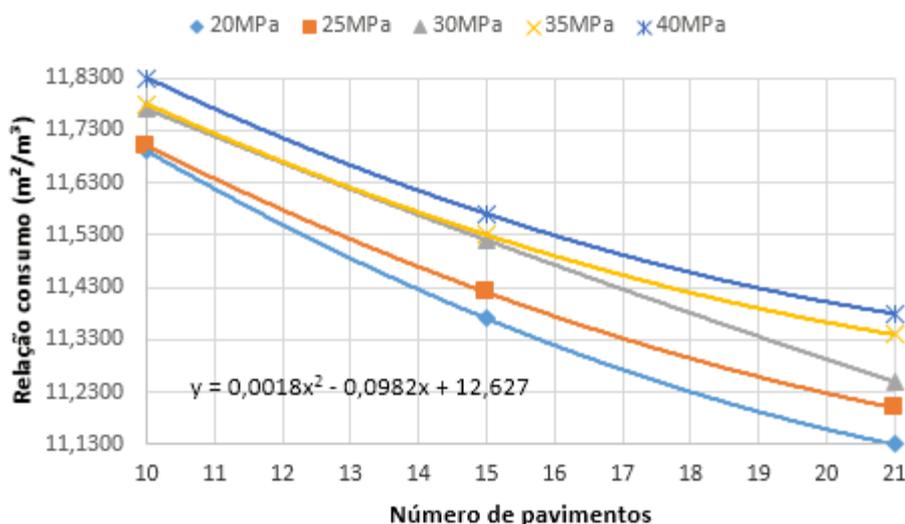


Figura 25: Consumo m²Formas/m³concreto. Fonte: O autor, 2014.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados das relações estudadas, observou-se a extrema relevância da análise de diferentes classes de “fck”, no dimensionamento de edifícios. Em todas as propostas, verificou-se a tendência de diminuição do consumo de aço e concreto dos subsistemas verticais, quando empregado classes mais elevadas de “fck”, refletindo assim no custo final da estrutura. Tal tendência torna-se mais evidente com o aumento de pavimentos, sendo de 41,9%, 27,3% e 35%.

Para os subsistemas horizontais, o uso de concretos de classes mais elevadas de “fck”, ao contrário do anterior, influenciou apenas no consumo de aço e, mesmo assim, tornou o custo mais elevado, principalmente, por ter mantido as dimensões das seções transversais constantes. Entretanto, consideradas todas as propostas estudadas, tal aumento não influenciou significativamente no custo global da estrutura, gerando um aumento inferior a 5%, quando comparado o “fck” 40MPa com o “fck” 20MPa.

Analisando-se o custo global da estrutura, verificou-se que a estrutura com “fck” 40MPa apresentou uma redução no consumo de, 18,65%, 16,8% e 19,3%, gerando um custo para as propostas “A”, “B” e “C”, com economia de 5%, 6,5% e 11,3% respectivamente, tendo como referência a tabela SINAP-MT maio/2014.

Para a espessura média houve pouca variação, sendo a mesma inferior a 10% em todas as propostas. A variação no consumo de formas segue para todas as propostas menor que 5%. Neste contexto foi possível, fazer aproximações, referentes as tendências de aumento/diminuição entre propostas de modo que tanto os profissionais técnicos, quanto potenciais investidores, pudessem ter previsões de consumo e custo dos materiais. Tendo em vista a relevância dos parâmetros estudados neste trabalho, sugere-se a

continuidade de pesquisas correlatas ao referido assunto, com a finalidade de elevar a faixa de domínio do estudo em questão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J. M. D. **Curso de Concreto Armado**. 3^a. ed. Rio grande: Dunas, v. 1, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739:1994: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118:2007: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6120:1980: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6123:1988: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480. **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**, Rio de Janeiro, 1996. 7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8522:2003: **Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8681:2003: **Ações e segurança nas estruturas**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8953:1992: **Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 1988.
- DINIZ, J. Z. F. **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. *Concreto & Construções*, n. 53, p. 80, Janeiro;Fevereiro;Março 2009.
- DOMBASI, J. N. B.; VARGAS, A. **Análise da influência da resistência característica à compressão do concreto (fck) no dimensionamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado**, Criciúma, Janeiro 2011. 17.
- GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Introdução e propriedade dos materiais**, São Carlos, Março 2007. 71.
- GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de edifícios**, São Carlos, Fevereiro 2007. 184.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.
- PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **ESTRUTURAS DE CONCRETO – CAPÍTULO 4**, São Carlos, Abril 2013.
- REBELLO, YOPANAN CONRADO PEREIRA. *A concepção estrutural e a arquitetura*. São Paulo: Zigurate, 2000. 85-85570-03-2.
- SCHEFFLER, M. J. Estudo sobre a variabilidade da resistencia a compressão axial entre concreto produzido in loco e em laboratório em Sinop-MT, Sinop, Dezembro 2011.