

ANALISE DA ESTRUTURA DE UMA ESIDÊNCIA EXECUTADA SEM PROJETO ESTRUTURAL EM COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DA MESMA DE ACORDO COM A NBR 6118:2003 – ESTUDO DE CASO

Dagoberto Pagnussatti; Msc. Daiane dos Santos da Silva

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
dagobertopag@hotmail.com; dss@unesc.net

RESUMO

O dimensionamento de uma estrutura de concreto armado deve ser feito com a finalidade de garantir a estabilidade e segurança da estrutura durante sua vida útil. Porém na prática, não é difícil encontrar edificações residenciais unifamiliares sendo executadas sem projeto estrutural, e sem acompanhamento de profissional habilitado. Neste trabalho é realizada uma análise comparativa entre os custos da estrutura de uma edificação residencial unifamiliar com 113,45 m², executada sem projeto estrutural em comparação com os resultados obtidos através do dimensionamento da estrutura mantendo as mesmas seções da estrutura executada, alterando apenas as dimensões dos elementos que não atendem a NBR 6118 (2003) e outra sugerindo uma estrutura ideal. Através de visitas a obra, foram levantados dados da estrutura executada, e posteriormente realizado o dimensionamento da mesma de acordo com a NBR 6118 (2003). O cálculo mantendo as seções da estrutura executada apresentou um aumento no consumo de concreto e fôrmas, para que alguns elementos atendessem as dimensões mínimas especificadas pela NBR 6118 (2003). Já o consumo de aço reduziu 19,23% em relação à estrutura executada. Porém a estrutura projetada apresentou redução de 9,88% no consumo de concreto e 21,68% no consumo de aço.

Palavras-Chave: Projeto Estrutural; Armaduras; Custo.

1. INTRODUÇÃO

O projeto estrutural é de fundamental importância para a execução e segurança de uma obra. É nesta fase que é escolhida a melhor solução, que apresente as melhores condições de estabilidade e desempenho durante a vida útil da edificação.

Segundo Souza *apud* Isaia (2005, p.201)

“As soluções adotadas no projeto estrutural têm ampla repercussão em todo o processo de construção, na qualidade e desempenho do produto final a ser entregue ao cliente. Estas decisões têm forte impacto no processo de execução da obra, pois definem detalhes construtivos e especificações que permitem maior ou menor facilidade de construir, afetando diretamente a produtividade”.



No projeto estrutural são especificadas, as dimensões dos elementos estruturais, detalhamento da armadura necessária para que determinado elemento resista aos esforços ao qual será solicitado, o cobrimento da armadura de acordo com a classe de agressividade do ambiente, resistência do concreto, entre outras especificações. No projeto estrutural devem conter todas as dimensões e detalhes específicos dos elementos que compõe o sistema estrutural adotado.

Como o concreto simples apresenta pequena resistência à tração e é frágil, é altamente conveniente à associação do aço ao concreto, obtendo-se o concreto armado, que quando adequadamente dimensionado e detalhado, resiste muito bem à maioria dos tipos de solicitações. (Pinheiro, 2004).

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, durante o período correspondente a sua vida útil. (NBR 6118 2003).

Na execução do projeto estrutural, trabalha-se com uma previsão das ações que irão atuar na estrutura. Essas ações podem ser classificadas em permanentes, variáveis ou excepcionais. Para cada tipo de obra as ações consideradas no projeto devem respeitar suas características.

A segurança da estrutura está diretamente ligada a sua capacidade de suportar as ações sem sofrer grandes deformações, ou até mesmo atingir a ruptura. De modo geral o que se espera é uma baixa probabilidade de apresentarem patologias. (Graziano, 2005).

Projetos mal especificados ou com deficiência no detalhamento, podem fazer com que a haja uma redução da vida útil da estrutura, ou ainda intervenções antecipadas para garantir o desempenho esperado da estrutura. (Souza e Ripper, 2009).

Diante deste contexto, no presente trabalho é realizada uma análise comparativa do consumo de materiais para a estrutura de uma residência unifamiliar executada sem projeto estrutural, com relação aos resultados obtidos através do dimensionamento da mesma mantendo as seções da estrutura executada, alterando as seções dos elementos que não atendem as dimensões mínimas especificadas pela NBR 6118 (2003) e outra sugerindo uma estrutura ideal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A edificação em estudo trata-se de uma residência unifamiliar (Figuras 01 e 02), com estrutura executada em concreto armado, sem projeto estrutural, e sem responsável técnico para acompanhar a execução dos serviços. Possui área total de 113,45 m², localizada no bairro Vila Manaus em Criciúma - SC. A obra é composta por um pavimento com uma cozinha, dois dormitórios, uma suíte com sacada, um banheiro social, uma sala de estar e jantar e duas varandas.

Para realização do presente trabalho, foram feitas diversas visitas a obra, para levantamento de dados da estrutura executada, e posteriormente foi dimensionada de acordo com a NBR 6118 (2003).

Foram seguidos os procedimentos usuais no projeto, cálculo e detalhamento das estruturas de concreto armado, respeitando-se os preceitos das normas técnicas específicas. No dimensionamento em uma das situações foram mantidas as mesmas dimensões dos elementos da estrutura executada, exceto para os que ficaram com dimensões abaixo da mínima, em outra, foi sugerida uma estrutura ideal.

O método de comparação adotado foi baseado no levantamento do volume de materiais (aço, fôrmas e concreto) utilizados na execução da estrutura, com os resultados obtidos através dos dimensionamentos da mesma.

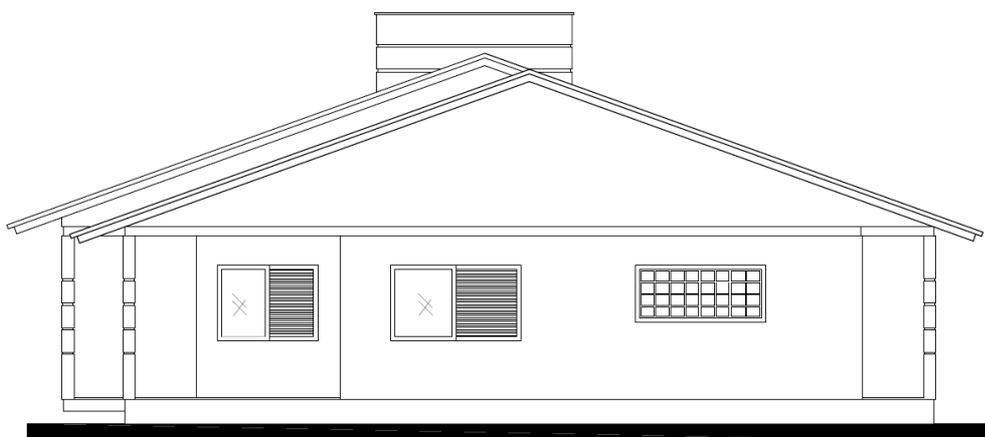


Figura 01 – Fachada lateral

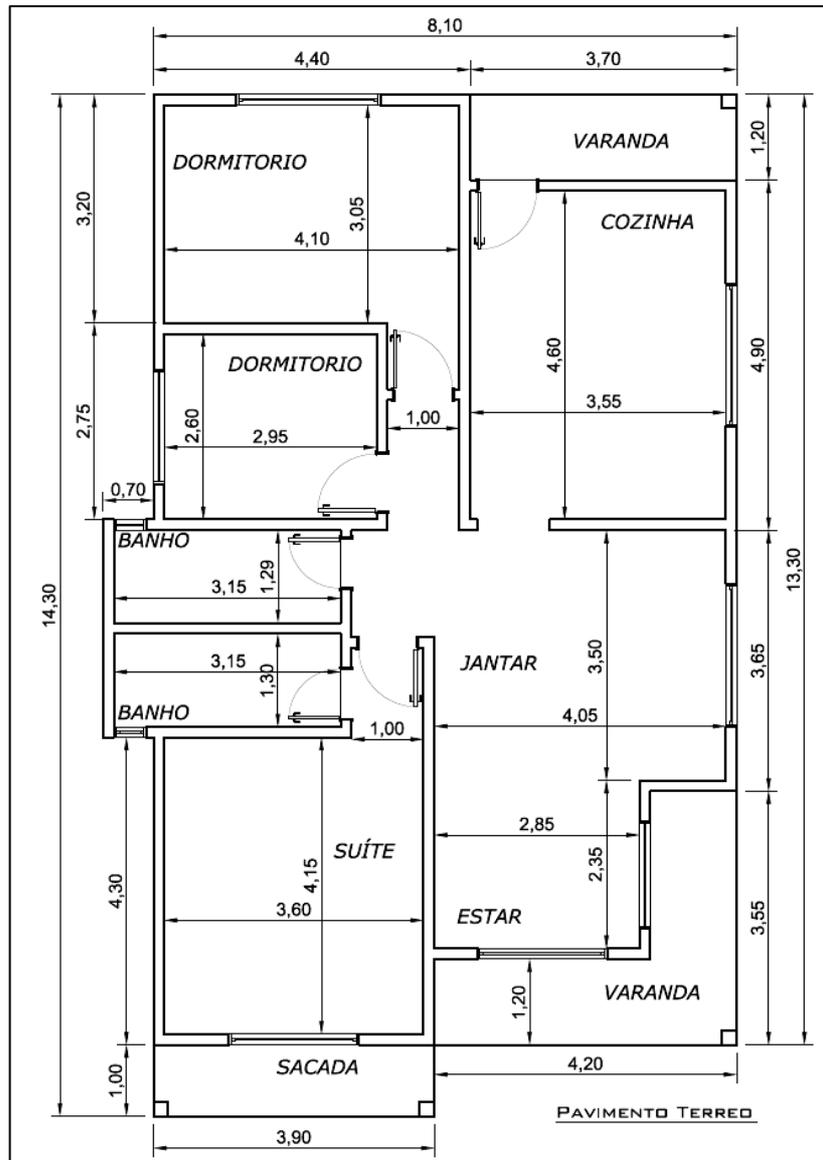


Figura 02 - Planta Baixa – Arquitetônico

2.1 COLETA DE DADOS

Inicialmente foram coletadas as informações de execução do sistema estrutural, tais como fôrmas, armaduras e concreto utilizado, além de especificações como dimensões dos elementos estruturais e detalhamento das armaduras utilizadas.

A Figura 03 ilustra a planta de formas de como foi executado o pavimento piso da edificação em estudo. Esta planta foi criada com base nos dados coletados e informações obtidas no momento da execução da obra.

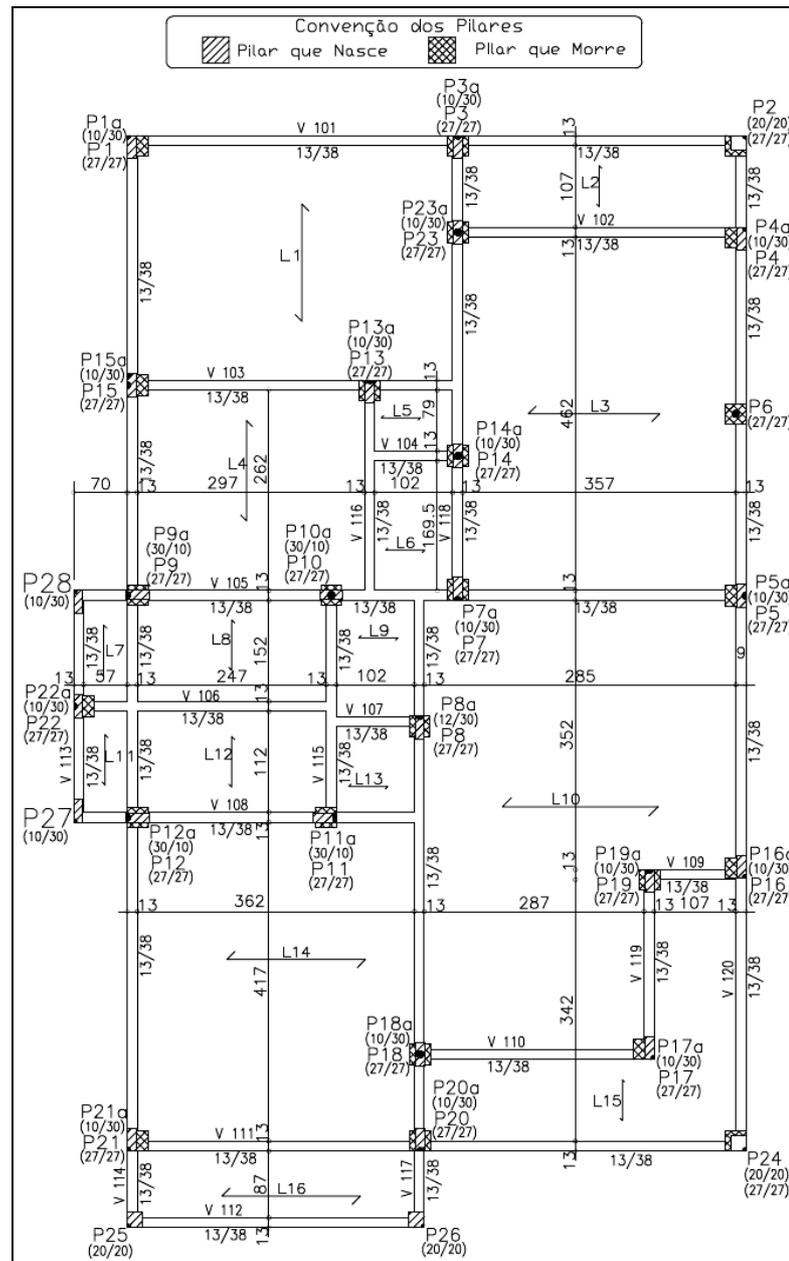


Figura 03 – Planta de fôrmas piso – EXECUTADA

Durante o levantamento de dados para criação da planta de fôrmas de “como executado”, também foram coletados dados sobre execução dos elementos estruturais, tais como lajes, vigas, pilares e fundações conforme descritos a seguir:

2.1.1 Lajes

Todas as lajes são pré-moldadas, com vigotas treliçadas. As vigotas foram dimensionadas pelo responsável técnico da empresa que as fabrica. Para armadura

de distribuição foi executada uma malha com $\varnothing 5.0$ c/ 20 cm, e uma capa de concreto com espessura de 4 cm (Figuras 04 e 05). Para a concretagem, foi utilizado concreto usinado com fck de 30 MPa e slump test 10 ± 2 cm.

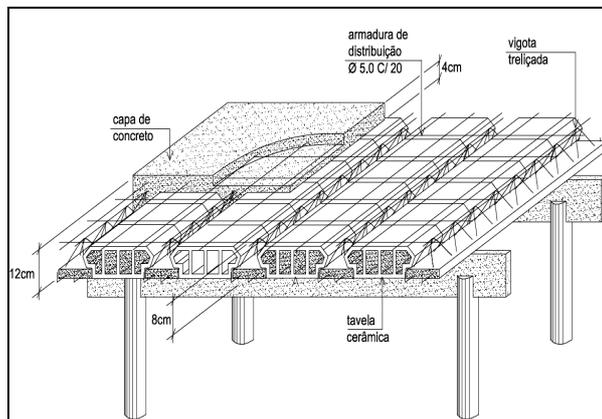


Figura 04 – Detalhe da laje executada



Figura 05 – Execução das lajes de piso

2.1.2 Vigas

As vigas do piso foram executadas com seção de 13 x 38 cm. As vigas da cobertura foram executadas sobre a alvenaria, usando a mesma como fundo para as fôrmas, estas têm seção de 10 x 40 cm. A armadura adotada para as vigas foi 4 $\varnothing 10$ mm para armadura longitudinal e $\varnothing 4.2$ mm a cada 20 cm, para armadura transversal, conforme pode ser visualizado nas figuras 06 e 07.

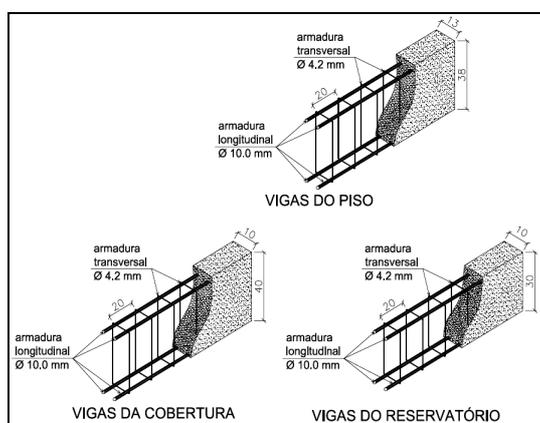


Figura 06 – Detalhe das vigas executadas



Figura 07 – Execução das vigas

A concretagem das vigas foi realizada com concreto usinado com fck de 30 MPa e slump 10 ± 2 cm, junto com a concretagem das lajes.

2.1.3 Pilares

Os colarinhos dos pilares foram executados com dimensões de 27 x 27 cm, até as vigas do piso. A partir deste patamar os pilares tiveram seções alteradas para 10 x 30 cm (Figuras 08 e 09). As armaduras, seguiram um padrão de 4 \varnothing 10 mm para armadura longitudinal e \varnothing 4.2 mm a cada 20 cm para armadura transversal.

Os pilares foram concretados, de acordo com a execução das alvenarias. O concreto foi rodado em obra, não teve controle de umidade da areia e estocagem dos materiais. O traço utilizado para o concreto foi 1:3:3 (cimento, areia, brita) em volume.

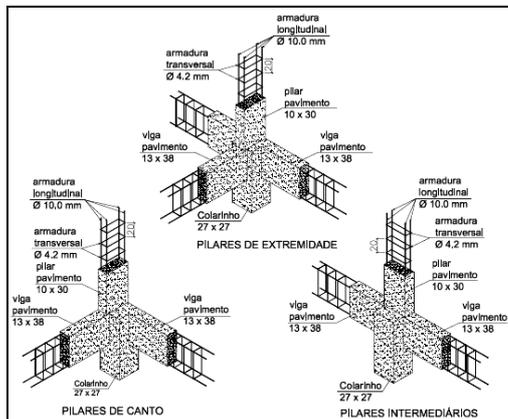


Figura 08 – Detalhe dos pilares executados



Figura 09 – Execução dos pilares

2.1.4 Fundações

Para a execução da obra, não foi realizada sondagem para investigação do subsolo como é recomendado. Foram executadas sapatas, todas com o mesmo padrão, 80 x 80 cm, e espessura de 20 cm, com armadura de \varnothing 8.0 mm a cada 10 cm para as duas direções, conforme Figuras 10 e 11. Todas as sapatas foram assentadas a uma profundidade de 50 cm e traço do concreto 1:3:3 (cimento, areia e brita) em volume.

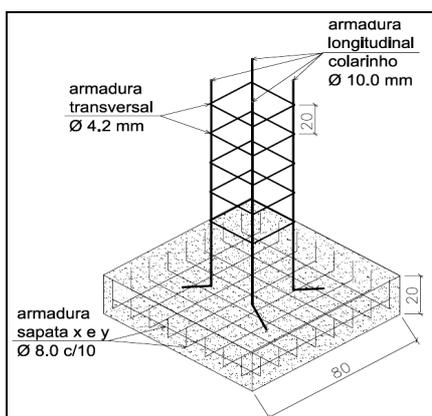


Figura 10 – Detalhe das sapatas executadas



Figura 11 – Execução das fundações e colarinhos

2.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Após ser feita a coleta de dados da execução da edificação partiu-se para o dimensionamento da mesma, com base no projeto arquitetônico. Foram utilizados os seguintes parâmetros para o dimensionamento: concreto com f_{ck} 20 MPa e aço CA – 50 e CA – 60. A tabela 01 ilustra as cargas adotadas.

Tabela 01 – Cargas utilizadas para o dimensionamento da estrutura

Pavimento	Acidental (kgf/m ²)	Permanente (kgf/m ²)	Parede (kgf/m)
Piso	150	280	550
Cobertura	50	250	400
Fundo reservatório	50	180 (+ 500) ^c	300
Teto reservatório	50	200	-

^c - Carga da caixa d'água na região central da Laje

Para realizar os cálculos e a análise da estrutura em estudo, foi utilizado o *software* Cypecad, que é um programa para realizar cálculo e dimensionamento de estruturas de concreto armado. Com o auxílio do software é possível analisar a estrutura de forma global, sem a necessidade de desmembrar a estrutura em elementos já conhecidos.

O modelo de análise 3D efetuado pelo programa, é o mais completo, pois determina momentos de flexão e torção, além de esforços normais e cortantes, de todos os elementos estruturais. Analisa carregamentos verticais e horizontais, considerando

seis graus de liberdade por nó, ou seja, translação paralela aos três eixos principais e rotação em torno desses três eixos.

O programa fornece os desenhos, dimensões e armaduras de lajes, vigas e pilares, volume de materiais utilizados (fôrmas, concreto, armaduras), além de uma lista com esforços e resultados dos cálculos efetuados.

As Figuras 12 e 13 representam a imagem 3D da estrutura executada e projetada (sugerida) respectivamente, fornecidas pelo programa.

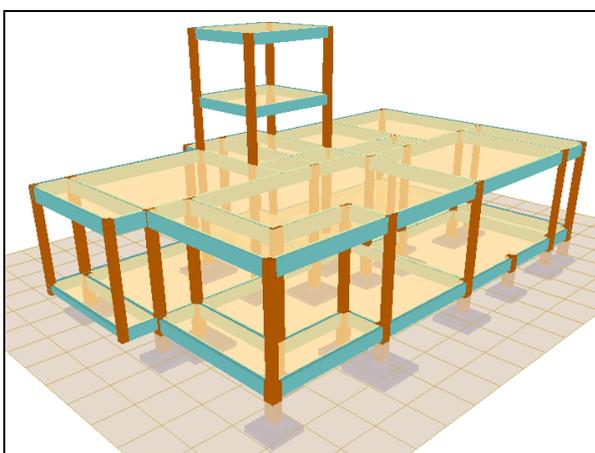


Figura 12 - Imagem 3D da estrutura executada

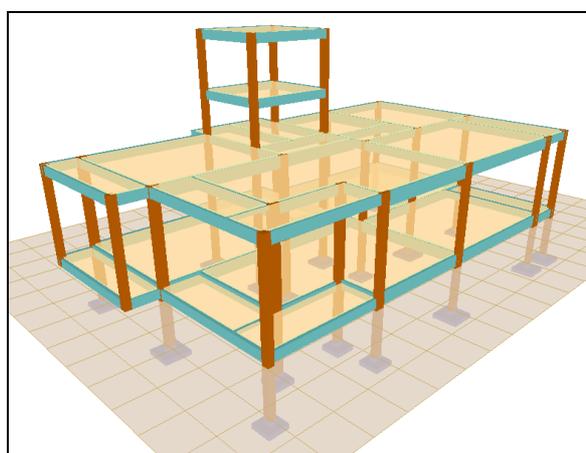


Figura 13 - Imagem 3D da estrutura projetada

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concluído o processo de cálculo, foram analisados todos os elementos constituintes da estrutura (lajes, vigas, pilares e fundações) mantendo as dimensões da estrutura executada conforme Figura 03, alterando apenas dimensões de pilares com seção 10 x 30 cm para 12 x 30 cm, mantendo as dimensões das vigas e lajes.

A Figura 14 representa a planta de fôrmas da estrutura projetada (sugerida).

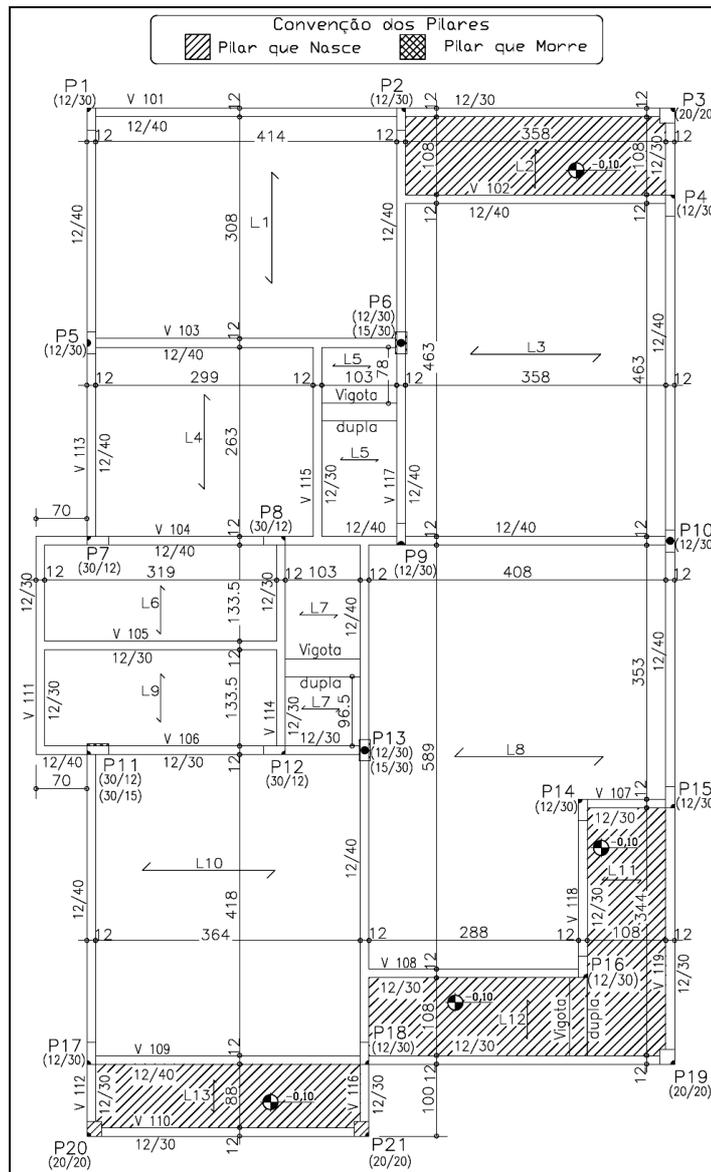


Figura 14 – Planta de fôrmas da estrutura PROJETADA

3.1 Lajes

A Figura 15 apresenta os quantitativos de materiais utilizado e calculado, nas lajes da edificação.

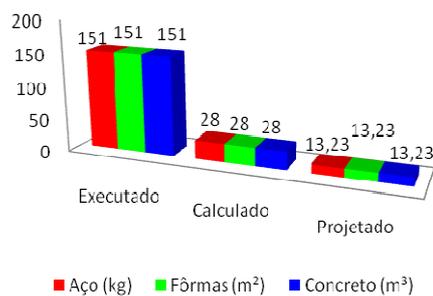


Figura 15 – Consumo de materiais para as lajes da estrutura

A quantidade de materiais utilizada é igual ao calculado, pois as lajes foram dimensionadas pelo responsável técnico da empresa que fabrica as vigotas pré-moldadas.

3.2 Vigas

A NBR 6118 (2003) em seu item 13.2.2 especifica que “a seção transversal das vigas não deve apresentar largura menor que 12 cm [...] respeitando um mínimo absoluto de 10 cm”. O item 18.3.3.2 da mesma norma especifica que “o diâmetro da barra que constitui o estribo deve ser maior ou igual a 5 mm”.

A Figura 16 apresenta o comparativo do consumo geral de materiais para as vigas da estrutura. Observa-se que as dimensões adotadas para as vigas atendem as condições mínimas especificadas pela norma.

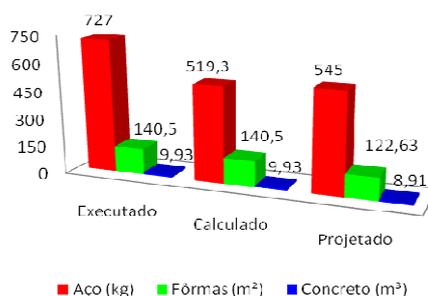


Figura 16 – Consumo de materiais para as vigas da estrutura

Ao se analisar a Figura 16 é possível perceber que houve um grande desperdício de armadura 40% em relação à estrutura calculada mantendo as seções, e quanto à estrutura projetada (sugerida) o consumo foi 33,39% superior. Apesar de a estrutura executada estar com deficiência de armadura transversal em todas as vigas, devido ao diâmetro utilizado (\varnothing 4.2 mm) ser inferior ao mínimo especificado pela NBR 6118 (2003) (\varnothing 5.0 mm) e ao espaçamento utilizado (20 cm) ser insuficiente para varias vigas, ocorreu desperdício de armadura devido ao padrão adotado para todas as vigas da estrutura, estar com excesso de armadura longitudinal.

O consumo de fôrmas e concreto não foi alterado em relação à estrutura calculada, pois as seções foram mantidas as mesmas da estrutura executada, porém a estrutura projetada (sugerida) apresentou consumo de fôrmas 14,57% inferior a estrutura executada e o consumo de concreto 11,45% inferior, devido a redução nas seções de varias vigas e substituição de algumas vigas por vigotas duplas.

3.3 Pilares

A NBR 6118 (2003), no seu item 18.4.2.1 especifica que “o diâmetro das barras longitudinais não deve ser inferior a 10 mm”. O item 18.4.3 da mesma norma, diz que o diâmetro dos estribos não deve ser inferior a 5 mm e o espaçamento máximo deve ser igual a menor dimensão da seção do pilar para garantir o posicionamento e evitar a flambagem das barras das armaduras situadas na superfície da peça. Quanto à seção do pilar, o item 13.2.3 diz que pilares devem ter dimensão mínima de 19 cm, porém “em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 12 cm [...] Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm²”.

A Figura 17 representa o consumo de materiais para os pilares da estrutura.

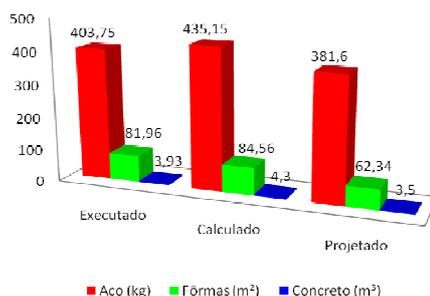


Figura 17 – Consumo de materiais para os pilares da estrutura

Pode-se observar que calculando a estrutura executada, alterando apenas as dimensões dos pilares com seção 10 x 30 cm para 12x 30 cm, para atender as dimensões mínimas especificadas pela NBR 6118 (2003) o consumo de armaduras teve um aumento de 7,78%. A armadura longitudinal utilizada é igual à armadura mínima para os pilares, e com o dimensionamento verificou-se que a mesma atende as solicitações. Portanto a diferença que se percebe no consumo de aço, esta relacionado à armadura transversal, a qual não atende a norma no que diz respeito ao diâmetro (utilizado \varnothing 4.2 mm) e espaçamento entre estribos (utilizado 20 cm, e menor dimensão da seção do pilar 10 cm). A diferença no consumo de fôrmas e concreto aumentou em 3,17% e 9,41% respectivamente devido ao aumento das seções.

Observando o consumo de materiais de materiais da estrutura executada, em relação à estrutura projetada (sugerida) essa diferença aumenta ainda mais. A

estrutura projetada teria um consumo de aço 5,80% inferior à estrutura executada, o consumo de fôrmas seria de 31,47% e o consumo de concreto 12,29% inferior a estrutura executada, devido a uma redução de cinco pilares.

3.4 Fundações

As fundações devem garantir de forma permanente a estabilidade da obra. A NBR 6122 (1996) em seu item 6.4.1 especifica que as sapatas não devem ter dimensão inferior a 60 cm em planta, e de acordo com o item 6.4.2 devem ser assentadas a uma profundidade mínima de 1,50 m.

Para o dimensionamento das sapatas, devido à ausência de boletim de sondagem, foi estimada uma tensão admissível pelo solo através da estrutura executada, em 2,8 kg/cm² (pilar mais carregado pela área da sapata 80 x 80 cm).

A Figura 18 mostra a diferença no consumo de materiais para as sapatas.

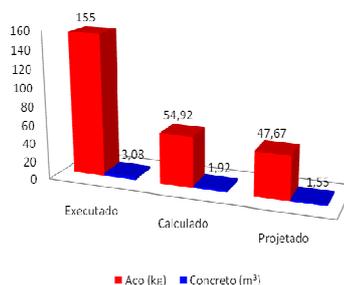


Figura 18 – Consumo de materiais para as sapatas da estrutura

Analisando a figura o que mais chama a atenção, é o grande desperdício de material da estrutura executada em relação às outras duas estruturas calculadas. O consumo de aço foi de 182,23% superior ao necessário e o consumo de concreto foi 60,42% superior. Já comparando a estrutura executada com a projetada (sugerida), o consumo de aço para a estrutura projetada seria de 225,15% inferior ao que foi gasto na estrutura, e para o concreto essa diferença seria de 98,71%.

3.5 Análise geral

De posse dos levantamentos do consumo de materiais, para cada elemento estrutural, foram feitos comparativos (Tabela 02) do consumo geral dos materiais que seriam necessários pelo dimensionamento em relação ao consumo de materiais utilizados na execução da estrutura.

Tabela 02 – Diferença no consumo de materiais em relação a estrutura executada

	Aço	Fôrmas	Concreto
Executada (1)	1.436,75 kg	250,46 m ²	30,17 m ³
Calculada	- 23,82%	+ 1,04%	- 2,69%
Projetado (sugerida)	- 27,68%	- 17,60%	- 10,96%

3.6 Análise de custos

Para fazer um levantamento de custos dos materiais utilizados e calculados para a estrutura (Figura 19), foi feita pesquisa de preços em empresas de Criciúma que atuam no ramo da construção civil. Os valores utilizados são apenas dos materiais utilizados, não inclui mão de obra, sendo estes pesquisados no mês de Março de 2011.

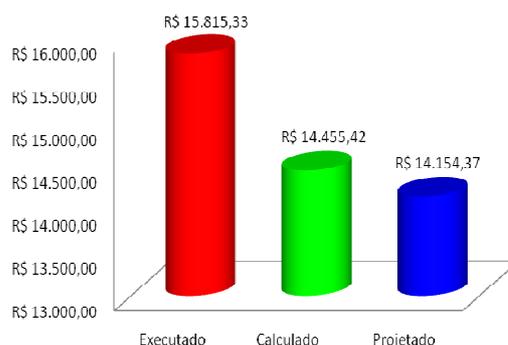


Figura 19 – Comparativo do custo total da estrutura

Pode-se observar que em comparação com as duas estruturas calculada, a estrutura executada foi mais cara, 9,40% em relação a estrutura calculada, mantendo as seções dos elementos estruturais da estrutura executada, e 11,73% em relação a estrutura que foi projetada (sugerida).

Se o proprietário tivesse optado por contratar um profissional elaborar um projeto estrutural, (em média R\$8,00/m²), teria gasto R\$ 15.061,97, ainda teria economizado R\$ 753,36 e teria certeza de ter executado uma estrutura estável e segura, além de ter economizado materiais.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados discutidos para o caso em questão, ao final deste trabalho pode-se concluir que:

- O concreto das vigas e lajes foi executado com fck superior ao necessário;
- Vigas com consumo de armadura 40% superior ao da estrutura calculada utilizando as mesmas seções da estrutura executada;
- Consumo de armaduras nas vigas executadas 33,29% superior ao da estrutura projetada (sugerida);
- Vigas executadas com insuficiência de armadura transversal, devido a espaçamento inadequado e ao diâmetro utilizado ser inferior ao mínimo especificado pela NBR 6118 (2003);
- Vigas da estrutura executada com consumo de fôrmas 14,57% superior ao da estrutura projetada (sugerida);
- Vigas da estrutura executada com consumo de concreto 11,45% superior ao da estrutura projetada (sugerida);
- Pilares da estrutura executada com seção inferior a mínima especificada pela NBR 6118 (2003);
- Consumo de armadura transversal de pilares inferior ao necessário devido ao diâmetro inferior ao mínimo especificado por norma e o espaçamento insuficiente;
- Pilares da estrutura executada consumiram 5,80% de aço a mais do que a estrutura projetada (sugerida);
- Pilares da estrutura executada consumiram 31,47% de fôrmas a mais do que a estrutura projetada (sugerida);
- Pilares da estrutura executada consumiram 12,29% de concreto a mais do que a estrutura projetada (sugerida);
- Consumo de aço para as sapatas foi 182,23% superior ao calculado para a estrutura;
- Consumo de concreto para as sapatas foi 60,42% superior ao calculado para a estrutura;
- Consumo de aço 225,15% superior ao calculado para a estrutura projetada (sugerida);
- Consumo de concreto 98,71% superior ao calculado para a estrutura projetada (sugerida);
- O consumo de aço 23,82% superior ao necessário para as seções adotadas para os elementos estruturais da estrutura executada;

- O consumo de aço da estrutura executada 27,68% superior ao da estrutura projetada (sugerida);
- Todas as sapatas estão assentadas em profundidade inferior a mínima especificada pela NBR 6122 (1996);

Fica evidente que o projeto estrutural é essencial para a execução de uma estrutura, pois uma estrutura mal dimensionada tem como resultado desperdício de material e a falta de segurança.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**: NBR 6118. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de fundações – Procedimento**: NBR 6122. Rio de Janeiro, 1996.

BATLOUNI NETO, Jorge. Diretrizes do Projeto de Estrutura para Garantia do Desempenho e Custo. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Isipis, 2005. 1 v. Cap. 7, p. 201.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2009.

GRAZIANO, Francisco Paulo. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado**. São Paulo: Nome da Rosa, 2005.

PINHEIRO, Libânio Miranda; **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Edufscar, 2004.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz; **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. São Paulo: PINI, 2009.