

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANDRESSA TONIN DURLO

**SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA PILARES DE DIVISA: ANÁLISE E
DIMENSIONAMENTO EM *SOFTWARE* COMERCIAL**

Alegrete

2023

ANDRESSA TONIN DURLO

**SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA PILARES DE DIVISA: ANÁLISE E
DIMENSIONAMENTO EM *SOFTWARE* COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Simonetti Milani

Alegrete

2023

ANDRESSA TONIN DURLO

SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA PILARES DE DIVISA: ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO EM SOFTWARE COMERCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. JAELSON BUDNY - UNIPAMPA

Prof. Dr. ANDRÉ LUBECK - UFSM



Assinado eletronicamente por **André Lübeck, Usuário Externo**, em 15/07/2023, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2023, às 14:03, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2023, às 23:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1185338** e o código CRC **7E164437**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à UNIPAMPA pelos aprendizados e experiências adquiridos ao longo desses anos, a todos os professores os quais tive privilégio de ser aluna, e agradeço pela grande oportunidade de ter concluído a graduação numa universidade federal.

Agradeço ao meu professor e orientador Alisson Simonetti Milani por todo apoio e contribuição neste trabalho.

E claro, agradeço a todos familiares, colegas e amigos, tanto os amigos antigos quanto os recentes, que tive o prazer de conhecer durante a graduação, e que seguirão fazendo parte da minha vida. Obrigada por todo apoio e ajuda durante esses anos juntos.

RESUMO

Quando é elaborado o projeto arquitetônico de uma edificação na divisa de um terreno, os pilares encontram-se faceando esta divisa, assim, como solução estrutural, deve-se utilizar uma fundação que não avance no terreno vizinho, e as alternativas mais comuns para este caso são: sapata excêntrica de divisa sem viga, sapata excêntrica de divisa com viga alavanca (de equilíbrio) e sapata de divisa com viga de transição (em balanço). Com o auxílio do *software* TQS, foi realizada a modelagem e realizou-se a análise em uma edificação residencial, de dois pavimentos, para as três alternativas. Encontrou-se algumas dificuldades no *software* para dimensionar e atender as verificações para a primeira alternativa, resultando em grandes dimensões para as sapatas de divisa, sendo esta solução inviável para a edificação, devido à proximidade que as sapatas se encontram, podendo o solo vir a romper devido ao bulbo de tensões. Quanto às outras duas alternativas, o *software* apresentou resultados coerentes para a edificação em questão. No geral, o TQS se apresenta satisfatório para o dimensionamento e análise de sapatas de divisa.

Palavras-Chave: Sapatas de divisa. Modelagem. TQS.

ABSTRACT

When the architectural design of a building on the border of a land is elaborated, the pillar is facing this border, so, as a structural solution, a foundation must be used that does not advance into the neighboring land, and the most common alternatives for this case are: eccentric boundary footing without beam, eccentric boundary footing with lever beam (balance) and boundary footing with transition beam (cantilever). With the aid of the TQS software, modeling was carried out in residential building, with two floors, for the three alternatives, as well as their analyses. Some difficulties were found in the software to dimension and attend the verifications for the first alternative, resulting in large dimensions for the boundary footings, this being an unfeasible solution for the building, due to the proximity that the footings are, and the ground may come to break due to bulb stresses. As for the other two alternatives, the software presented consistent results for the building in question. Overall, the TQS is satisfactory for the design and analysis of boundary footings.

Keywords: Boundary footings. Modeling. TQS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sapata de fundação e a condição geométrica para fundação superficial .	17
Figura 2 - Pressões de contato e esforços internos em uma fundação.....	19
Figura 3 - Coeficiente de mola e coeficiente de reação vertical	20
Figura 4 - Laje lisa apoiada diretamente sobre o pilar.....	23
Figura 5 - Sapata rígida e o cone de punção	23
Figura 6 - Distribuição de tensões em sapatas rígidas e sapatas flexíveis	24
Figura 7 - Sapata rígida com tensão uniforme no solo.....	25
Figura 8 - Condição para sapata rígida e sapata flexível	26
Figura 9 - Ângulo α e balanço c	26
Figura 10 - Sapatas isoladas sob ações excêntricas	27
Figura 11 - Ações na sapata isolada	27
Figura 12 - Detalhes construtivos para a sapata.....	28
Figura 13 - Dimensões da sapata isolada	29
Figura 14 - Tensão de cisalhamento na sapata	32
Figura 15 - Balanço c e altura h na sapata isolada	32
Figura 16 - Distribuição da reação do solo na base da sapata	33
Figura 17 - Seção de referência S_{1A}	34
Figura 18 - Notações e seções de referência S_{1A} e S_{1B}	35
Figura 19 - Áreas de referência no cálculo dos momentos fletores.....	35
Figura 20 - Resultante da pressão no solo.....	36
Figura 21 - Área comprimida pela flexão (A'_c)	37
Figura 22 - Seção de referência S_2	38
Figura 23 - Esforços solicitantes e tensões de reação na sapata para verificação ao tombamento	39
Figura 24 - Sapata excêntrica de divisa	41
Figura 25 - Bulbo de tensão	41
Figura 26 - Tensão de tração da sapata excêntrica de divisa	42
Figura 27 - Tensão no solo de uma sapata excêntrica sob pilar de divisa	43
Figura 28 - (a) Distribuição de tensões no solo e (b) deslocamento da sapata para o centro de gravidade de aplicação da carga.....	44
Figura 29 - Aplicação da carga em relação ao núcleo central de inércia	45

Figura 30 - Armadura na sapata de divisa	46
Figura 31 - Pilar de divisa sobre sapata combinada com viga alavanca	47
Figura 32 - Cargas da viga de equilíbrio	47
Figura 33 - Notações da sapata com viga alavanca (viga de equilíbrio)	48
Figura 34 - Condições comparativas entre as forças $R1'$ e $R1''$	50
Figura 35 - Diagramas de esforços solicitantes na viga alavanca e seções transversais de referência 1, 2 e 3	51
Figura 36 - Sapata sob o pilar de divisa e seções de referência S1 e S2	53
Figura 37 - Sapata de divisa com viga de transição	54
Figura 38 - Colinearidade dos centros de gravidade dos elementos.....	54
Figura 39 - Diagrama de momento fletor na viga de transição	55
Figura 40 - Variação da altura e largura da viga de transição	55
Figura 41 - Ângulo de incidência do vento	57
Figura 42 - Inserção do coeficiente de mola.....	60
Figura 43 - Janela de configuração “Dados de pilares”	60
Figura 44 - Edição de dados de fundação (SSV)	61
Figura 45 - Escolha do tipo de vinculação viga-fundação	62
Figura 46 - Seção de referência S_3 e diagrama de tensões no solo.....	65
Figura 47 - Seções para cálculo de esforço cortante e áreas de cálculo	65
Figura 48 - Planta baixa da fundação - SSV	68
Figura 49 - Planta baixa do pavimento térreo - SSV	69
Figura 50 - Perspectiva 3D – SSV.....	70
Figura 51 - Planta baixa da fundação - SVA	80
Figura 52 - Planta baixa do pavimento térreo - SVA	81
Figura 53 - Perspectiva 3D - SVA	82
Figura 54 - Planta baixa de fundação - SVT.....	90
Figura 55 - Planta baixa do pavimento térreo - SVT	91
Figura 56 - Perspectiva 3D - SVT.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das sapatas.....	18
Quadro 2 - Ângulo de atrito entre o solo e a sapata.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores sugeridos para o módulo de elasticidade	21
Tabela 2 - Valores sugeridos para o coeficiente de Poisson.....	21
Tabela 3 - Valores para o fator de forma (I_s)	22
Tabela 4 - Ângulo de atrito interno do solo.....	40
Tabela 5 - Valores de coeficiente de arrasto	58
Tabela 6 - Pressões básicas	59
Tabela 7 - Características geométricas das sapatas e parâmetros do solo (SSV)....	66
Tabela 8 - Valores de coeficiente de mola (SSV).....	67
Tabela 9 - Geometria das sapatas e pilares (SSV)	67
Tabela 10 - Tensões no solo (SSV)	71
Tabela 11 - Esforços atuantes (SSV)	71
Tabela 12 - Dimensionamento (SSV).....	72
Tabela 13 - Detalhamento (SSV)	72
Tabela 14 - Verificação do detalhamento – escorregamento da armadura (SSV) ...	73
Tabela 15 - Verificação ao tombamento – Combinação 40 - (SSV)	73
Tabela 16 - Verificação ao tombamento para todas as combinações do TQS - (SSV)	74
Tabela 17 - Verificação ao tombamento – Combinação 39 - (SSV).....	74
Tabela 18 – Esforços das sapatas na combinação 39 (SSV)	75
Tabela 19 - Verificação ao tombamento conforme Bastos (2019) (SSV)	75
Tabela 20 - Verificação ao tombamento conforme Campos (2015) (SSV).....	75
Tabela 21 - Verificação ao deslizamento (SSV)	76
Tabela 22 - Verificação à compressão diagonal (SSV)	76
Tabela 23 - Verificação ao esforço cortante (SSV)	77
Tabela 24 - Características geométricas das sapatas e parâmetros do solo (SVA)..	78
Tabela 25 - Valores de coeficiente de mola (SVA).....	78
Tabela 26 - Geometria das sapatas de divisa e pilares (SVA)	79
Tabela 27 - Geometria das sapatas centrais para ancoragem das vigas alavancas (SVA).....	79
Tabela 28 - Tensões no solo (SVA)	83
Tabela 29 - Esforços atuantes (SVA)	83

Tabela 30 – Dimensionamento das sapatas de divisa (SVA).....	83
Tabela 31 – Detalhamento das sapatas de divisa (SVA)	84
Tabela 32 - Detalhamento das sapatas centrais para ancoragem das vigas alavancas (SVA).....	84
Tabela 33 - Armaduras à flexão das vigas alavancas	84
Tabela 34 - Armaduras ao cisalhamento das vigas alavancas	85
Tabela 35 - Verificação do detalhamento – escorregamento da armadura (SVA)	85
Tabela 36 - Verificação ao tombamento (SVA)	86
Tabela 37 - Verificação ao deslizamento (SVA)	86
Tabela 38 - Verificação à compressão diagonal (SVA)	87
Tabela 39 - Verificação ao esforço cortante (SVA)	87
Tabela 40 - Características geométricas das sapatas e parâmetros do solo (SVT)..	88
Tabela 41 - Valores de coeficiente de mola (SVT)	88
Tabela 42 - Geometria das sapatas e pilares (SVT)	89
Tabela 43 - Geometria das sapatas centrais para ancoragem das vigas de transição (SVT).....	89
Tabela 44 - Tensões no solo (SVT).....	93
Tabela 45 - Esforços atuantes (SVT)	93
Tabela 46 – Dimensionamento das sapatas de divisa (SVT)	93
Tabela 47 – Detalhamento das sapatas de divisa (SVT)	94
Tabela 48 – Detalhamento das sapatas centrais para ancoragem das vigas alavancas (SVT).....	94
Tabela 49 - Armaduras à Flexão das vigas de transição	95
Tabela 50 - Armaduras ao cisalhamento das vigas de transição	95
Tabela 51 - Armaduras dos pilares de transição	96
Tabela 52 - Verificação do detalhamento – escorregamento da armadura (SVT).....	96
Tabela 53 - Verificação ao tombamento (SVT)	97
Tabela 54 - Verificação ao deslizamento (SVT)	97
Tabela 55 - Verificação à compressão diagonal (SVT)	98
Tabela 56 - Verificação ao esforço cortante (SVT).....	98
Tabela 57 - Quantitativo de aço e concreto.....	100

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEB – *Comité Euro-International du Beton*

ELU – Estado Limite Último

Fck – *Feature Compression Know* (Resistência característica do concreto à compressão)

Fcd – *Feature Compression Design* (Resistência de projeto do concreto à compressão)

Fyd – *Feature Yield Design* (Resistência de projeto do aço ao escoamento na tração)

ISE – Interação Solo-Estrutura

NBR – Norma Brasileira

SPT – *Standard Penetration Test*

SSV – Sapata excêntrica de divisa (Sem Viga)

SVA – Sapata excêntrica de divisa com Viga Alavanca

SVT – Sapata de divisa com Viga de Transição

TQS – Tecnologia e Qualidade em Sistemas

LISTA DE SÍMBOLOS

σ_a - Tensão admissível

σ_{adm} - Tensão admissível

α – Ângulo

τ_{sd} – Tensão de cisalhamento solicitante

τ_{rd2} – Tensão de cisalhamento resistente

σ – Tensão normal

M_{sd} – Momento fletor atuante na seção

M_{min} – Momento mínimo de dimensionamento

$A_{s_{calc}}$ – Área de armadura calculada para o maior valor de momento atuante e mínimo

$A_{s_{calc,corr}}$ – Área de armadura calculada corrigida para sapatas retangulares

$A_{s_{min,p}}$ – Área de armadura mínima, através da taxa mínima, conforme critério

$A_{s_{min,crit}}$ – Área de armadura mínima, absoluta, conforme critério

$A_{s_{nec}}$ – Área de armadura necessária

$A_{s_{det}}$ – Área de armadura necessária a ser detalhada

$A_{s_{det/s}}$ – Área de armadura por unidade de comprimento a ser detalhada

$N\Phi$ – Número de ferros

Φ – Bitola da armadura

c – Espaçamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo geral	15
1.2	Objetivos específicos	15
1.3	Justificativa.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Sapata Isolada	22
2.1.1	Sapatas isoladas rígidas com carga centrada	27
2.1.1.1	Dimensões da sapata	28
2.1.1.2	Verificação da diagonal comprimida	31
2.1.1.3	Projeto considerando o CEB-70.....	32
2.1.1.3.1	Dimensionamento e disposições das armaduras de flexão	33
2.1.1.3.2	Verificação da força cortante	37
2.1.1.4	Verificação ao tombamento e ao escorregamento.....	38
2.2	Sapata isolada excêntrica de divisa (sem viga de equilíbrio)	40
2.3	Sapatas excêntricas de divisa com viga de equilíbrio (ou viga alavanca)	46
2.4	Sapatas de divisa com viga de transição	53
3	METODOLOGIA	56
3.1	Considerações iniciais.....	56
3.2	Modelagem das sapatas de divisa	61
3.2.1	Sapata excêntrica de divisa (sem viga) - SSV.....	61
3.2.2	Sapata excêntrica de divisa com viga alavanca - SVA.....	62
3.2.3	Sapata de divisa com viga de transição - SVT	63
3.3	Verificações do TQS	63
3.3.1	Verificação quanto ao tombamento	63
3.3.2	Verificação quanto ao deslizamento	64
3.3.3	Verificação da diagonal comprimida	64

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
4.1	Sapata excêntrica de divisa (sem viga) - SSV	66
4.1.1	Coeficiente de Mola (SSV)	66
4.1.2	Geometria das sapatas e pilares (SSV).....	67
4.1.3	Esforços atuantes, dimensionamento e detalhamento (SSV).....	70
4.1.4	Verificações (SSV).....	72
4.2	Sapata excêntrica de divisa com viga alavanca - SVA	77
4.2.1	Coeficiente de Mola (SVA)	77
4.2.2	Geometria das sapatas, pilares (SVA).....	78
4.2.3	Esforços atuantes, dimensionamento e detalhamento (SVA).....	82
4.2.4	Verificações (SVA).....	85
4.3	Sapata de divisa com viga de transição - SVT	88
4.3.1	Coeficiente de Mola (SVT).....	88
4.3.2	Geometria das sapatas, pilares (SVT).....	89
4.3.3	Esforços atuantes, dimensionamento e detalhamento (SVT).....	92
4.3.4	Verificações (SVT).....	96
4.4	Comparação dos resultados	99
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	101
	REFERÊNCIAS.....	102
	ANEXO A – Projeto Arquitetônico.....	104
	ANEXO B – Planta de Fôrma.....	105
	APÊNDICE A.1 – SSV – Detalhamento das sapatas de divisa.....	106
	APÊNDICE A.2 – SSV - Detalhamento das sapatas centrais.....	107
	APÊNDICE B.1 – SVA – Detalhamento das sapatas.....	108
	APÊNDICE B.2 – SVA - Detalhamento das vigas alavancas	109
	APÊNDICE C.1 – SVT – Detalhamento das sapatas.....	110
	APÊNDICE C.2 – SVT – Detalhamento das vigas de transição.....	111
	APÊNDICE C.3 – SVT – Detalhamento dos pilares de transição.....	112

1 INTRODUÇÃO

Toda edificação, seja em concreto armado ou não, precisa ser construída sobre uma estrutura que transfira a carga desta edificação para o solo. Esta estrutura é denominada fundação, e deve garantir a estabilidade da obra que suporta, de forma permanente, com um coeficiente de segurança adequado. As sapatas são um dos tipos de fundações superficiais, em concreto armado, indicadas para regiões de solo com boa ou média capacidade de carga, podendo ser executadas com baixo custo e comportando-se de maneira eficiente (CARVALHO; PINHEIRO, 2009). Quando uma edificação é projetada na divisa lateral e/ou fundo de um terreno, ocorre o caso em que o pilar fica faceando esta divisa, então, como solução estrutural, devem ser utilizadas fundações que não avancem sobre o terreno vizinho, sendo a alternativa mais comum as sapatas de divisa (REBELLO, 2008). As três soluções de fundação para essa situação são: sapata excêntrica de divisa sem viga alavanca, sapata excêntrica de divisa com viga alavanca (de equilíbrio) (BASTOS, 2019) e sapata de divisa com viga de transição (em balanço) (REBELLO, 2008).

Utilizar um *software* adequado, como o TQS, para realizar um projeto estrutural torna a elaboração um processo altamente produtivo, melhorando a qualidade do mesmo e permitindo um eficiente atendimento aos requisitos das normas técnicas ABNT.

1.1 Objetivo geral

Estudar de três alternativas possíveis para pilares de divisa de uma edificação de 2 pavimentos, utilizando o *software* comercial TQS.

1.2 Objetivos específicos

- Apresentação das etapas de modelagem de três alternativas para pilares de divisa no *software* TQS;
- Análise e dimensionamento das três soluções estudadas;
- Apresentação e discussão dos resultados obtidos.

1.3 Justificativa

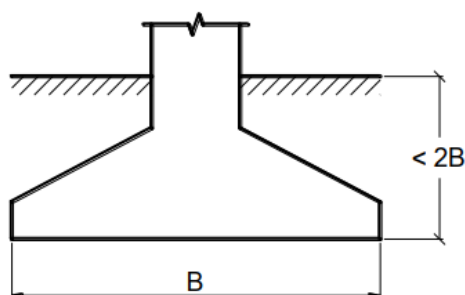
Um bom projeto de fundação é extremamente importante na segurança de uma edificação, e sempre deve-se buscar a melhor solução, pensando também na economia e funcionalidade. Cada vez mais é comum lotes com dimensões reduzidas, sendo que o projeto arquitetônico deve-se adequar a estas dimensões, e na maioria das vezes acontece de os pilares da edificação estarem posicionados na divisa do terreno. Este trabalho visa buscar resultados os quais interessam profissionais na área da construção civil, principalmente no ramo de projetos estruturais, sendo de fundamental importância realizar a melhor escolha para um projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Bastos (2019), a fundação (ou subestrutura) refere-se à parte de uma estrutura, geralmente construída abaixo do nível final do terreno, a qual é responsável por transmitir ao solo todas as ações verticais (provenientes da superestrutura, como pilares ou paredes de concreto) e horizontais (ações do vento) que atuam na edificação. Surge a necessidade de projetar este elemento estrutural devido à resistência do solo geralmente ser muito inferior à do concreto do pilar. Conforme Carvalho e Pinheiro (2009), as fundações são classificadas em profundas e em superficiais (ou rasas ou diretas), fazendo parte do primeiro tipo as estacas e tubulões, e do segundo, as sapatas e radiers.

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 6122 (ABNT, 2019), as fundações superficiais são elementos de fundação cuja base encontra-se assentada a uma profundidade inferior a duas vezes a sua menor dimensão, conforme mostrado na Figura 1. Rebello (2008) complementa que a fundação superficial é aquela em que as cargas da edificação (superestrutura) são transmitidas ao solo logo nas primeiras camadas.

Figura 1 - Sapata de fundação e a condição geométrica para fundação superficial



B = menor dimensão da sapata em planta.

Fonte: Bastos (2019)

A sapata é o tipo de fundação superficial mais comum, na qual transmite diretamente as cargas verticais e demais ações para o solo. Uma máxima tensão de tração atua na base da sapata, esta tensão supera a resistência do concreto à tração, sendo assim é necessário utilizar armadura, geralmente na forma de malha (BASTOS, 2019). Segundo Campos (2015), as sapatas podem ser classificadas, principalmente,

quanto ao tipo de carga que transferem ao solo, quanto ao seu comportamento estrutural (rígida ou flexível) e quanto à sua excentricidade.

O Quadro 1 mostra a classificação das sapatas conforme o tipo de carga que transferem para o solo.

Quadro 1 - Classificação das sapatas

Tipo	Carga que transfere
Isolada	Carga concentrada de um único pilar. Distribui a carga nas duas direções.
Corrida	Carga linear (parede). Distribui a carga em apenas uma direção.
Associada	Cargas concentradas de mais de um pilar transferidas através de uma viga que as associa. Utilizada quando há interferência entre duas sapatas isoladas.
Alavancada	Carga concentrada transferida através de viga-alavanca. É utilizada em pilar de divisa com o objetivo de centrar a carga do pilar com a área da sapata.

Fonte: Campos (2015)

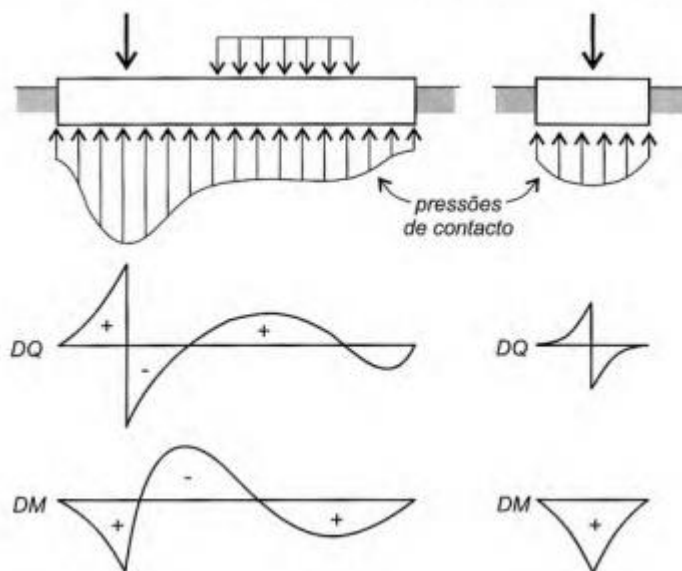
Neste trabalho será abordado somente o conceito e dimensionamento das sapatas isoladas e das sapatas de divisa (alavancada ou não).

Convencionalmente, dimensiona-se as fundações com as cargas que chegam aos pilares ou aos pontos de contato da superestrutura com as fundações, como se ambas fossem completamente distintas. Para haver compatibilidade física, as deformações solo-estrutura devem ser iguais, assim provocando uma reorganização no comportamento da superestrutura e na distribuição de cargas nas fundações. Apesar de apresentar maior complexidade, desenvolver um modelo que considere a continuidade entre a superestrutura em relação ao solo é intrinsecamente mais realista que o modelo tradicional, visto que são consideradas as condições não-lineares física e geométrica. (REBELLO, 2008).

A análise de interação solo-estrutura (ISE) fornece os deslocamentos reais da estrutura, assim como seus esforços internos, estes podendo ser obtidos diretamente pela análise da interação, ou indiretamente por meio das pressões de contato. As pressões de contato aparecem na interface estrutura-solo e dependem principalmente das características e intensidade das cargas aplicadas, da rigidez relativa fundação-solo e das propriedades do solo, como pode ser observado na Figura 2. Desta forma, a análise de ISE pode ser realizada por um modelo computacional (por exemplo, pórtico plano ou espacial) onde que a estrutura possua apoios elásticos de rotação

e/ou translação nos pontos que correspondem às fundações (VELLOSO; LOPES, 2011).

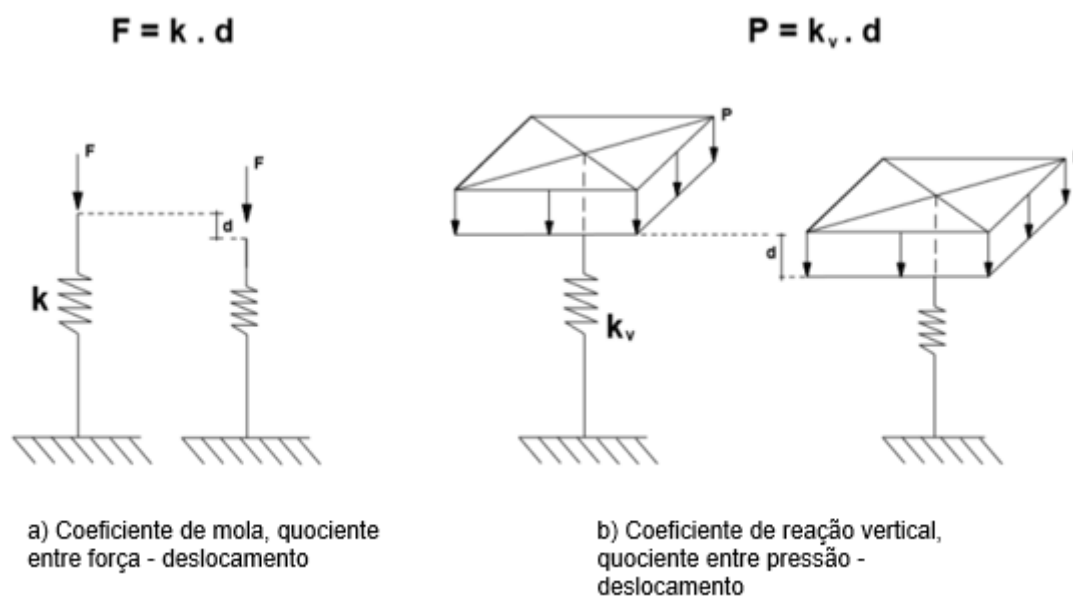
Figura 2 - Pressões de contato e esforços internos em uma fundação



Fonte: Velloso e Lopes (2011)

Conforme Velloso e Lopes (2011), existem dois modelos principais que representam o solo para análise de ISE: Hipótese de Winkler e meio contínuo. Neste trabalho, o modelo a ser considerado será o primeiro. De acordo com TQS INFORMÁTICA LTDA (202-?), a hipótese de Winkler estabelece uma relação pontual entre a fundação e o solo, através de uma constante (k_v) denominada de coeficiente de mola ou coeficiente de reação vertical (CRV). O CRV é um valor escalar que, de forma simplificada, representa o coeficiente de rigidez que o solo possui para resistir um determinado deslocamento, que pode ser causado por uma pressão. É análogo ao coeficiente de mola (Figura 3), no entanto, este está relacionado a uma força (força/deslocamento), enquanto que o CRV está relacionado a uma pressão (pressão/deslocamento). De acordo com Velloso e Lopes (2011), o CRV pode ser obtido por meio de ensaio de placa, tabelas de valores típicos ou correlações, ou cálculo do recalque da fundação real. Os autores apresentam a relação entre o coeficiente de mola e o módulo de elasticidade do meio elástico, indicada na Equação 1.

Figura 3 - Coeficiente de mola e coeficiente de reação vertical



Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (20--)

$$k_v = \frac{E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{1}{I_s} \cdot \frac{1}{B} \quad (1)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade do solo

ν = coeficiente de Poisson do solo

I_s = fator de forma da fundação

B = menor dimensão da fundação

Para esta equação, o módulo de elasticidade (E) pode ser obtido pela Tabela 1 e o coeficiente de Poisson (ν) pela Tabela 2, ambos conforme o tipo de solo. O Fator de Forma (I_s) depende da forma e da rigidez da sapata, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 1 - Valores sugeridos para o módulo de elasticidade

Tipo de solo	Consistência ou compactidade	Valores sugeridos (MPa)
Argila	muito mole	1
	mole	2
	média	5
	rija	7
	muito rija	8
	dura	15
Areia	fofa	5
	pouco compacta	20
	medianamente compacta	50
	compacta	70
	muito compacta	90
Areia com pedregulhos	pouco compacta	50
	compacta	120
Argila arenosa	-	-
Silte	-	-
Areia Siltosa	-	-

Fonte: Adaptado de Teixeira e Godoy (1998)

Tabela 2 - Valores sugeridos para o coeficiente de Poisson

Tipo de solo	ν
areia pouco compacta	0,2
areia compacta	0,4
silte	0,3 - 0,5
argila saturada	0,4 - 0,5
argila não saturada	0,1 - 0,3

Fonte: Adaptado de Teixeira e Godoy (1998)

Tabela 3 - Valores para o fator de forma (I_s)

Forma	Fundação Flexível			Rígida
	Centro	Vértice	Valor médio	
Circular	1,00	0,64	0,85	0,88
Quadrada	1,12	0,56	0,95	0,82
Retangular	Valores de I_s			
L/B = 1,5	1,36	0,68	1,15	1,06
L/B = 2	1,53	0,77	1,30	1,20
L/B = 5	2,10	1,05	1,83	1,70
L/B = 10	2,54	1,27	2,25	2,10
L/B = 100	4,01	2,00	3,69	3,40

Fonte: Souza e Reis (2008)

Para calcular o coeficiente de mola à rotação (giro em torno do eixo x e y), Antoniazzi (2011) apresenta as Equações 2 e 3, em kgf·cm/rad, onde I corresponde à inércia de cada eixo.

$$k_{rx} = K_v \cdot I_x \quad (2)$$

$$k_{ry} = K_v \cdot I_y \quad (3)$$

2.1 Sapata Isolada

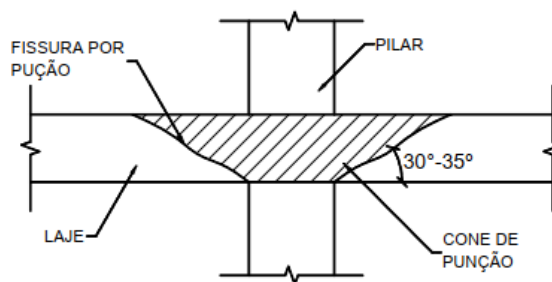
A sapata isolada consiste em uma placa de concreto armado, em que suas dimensões em planta são da mesma ordem de grandeza. Utiliza-se a sapata isolada quando as cargas transmitidas pela superestrutura são pontuais ou concentradas, a exemplo das cargas de pilares e das reações das vigas baldrames. Determinam-se as dimensões da sapata isolada conforme as cargas aplicadas e a resistência do solo, de tal modo que as tensões no solo devem ser menores ou iguais à sua tensão admissível (taxa do solo) (REBELLO, 2008).

Segundo Bastos (2019), o fator mais importante em relação à interface base-solo de uma sapata é a tensão ou pressão de apoio exercida no solo pela área da base da sapata. O autor comenta que a pressão que o solo exerce na sapata depende de vários fatores, tais como:

- existência de excentricidade do carregamento aplicado;
- intensidade de possíveis momentos fletores aplicados;
- rigidez da fundação;
- propriedades do solo;
- rugosidade da base da fundação.

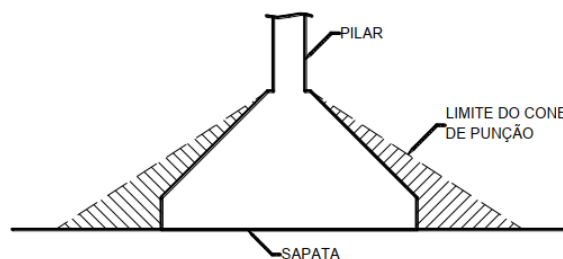
Se faz importante a classificação das sapatas relativamente à rigidez pois direciona a forma como deve ser considerada a distribuição de tensões na interface base da sapata/solo, assim como o procedimento ou método adotado no dimensionamento estrutural. As sapatas rígidas, por serem menos deformáveis, menos sujeitas à ruptura por punção¹ e mais seguras, têm preferência no projeto de fundações, enquanto que as sapatas flexíveis são caracterizadas pela sua pequena altura. É possível ocorrer ruptura por efeito de punção na ligação entre laje lisa com o pilar (Figura 4) e, de modo análogo, ocorre nas sapatas flexíveis, porém a sapata rígida não rompe por punção, pois está inteiramente dentro do cone de punção, devido sua altura e dimensões em planta, conforme mostrado na Figura 5 (BASTOS, 2019).

Figura 4 - Laje lisa apoiada diretamente sobre o pilar



Fonte: Bastos (2019)

Figura 5 - Sapata rígida e o cone de punção

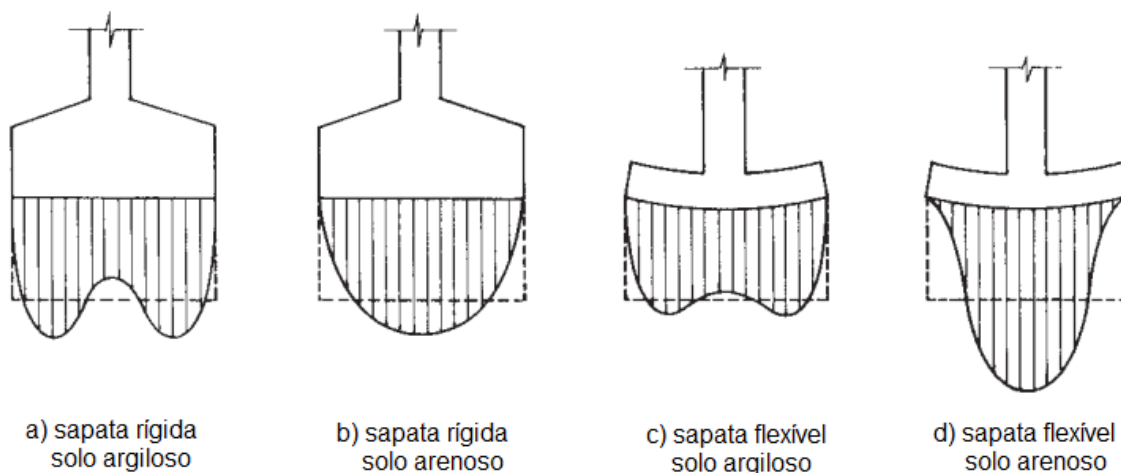


Fonte: Bastos (2019)

¹ Tensão de cisalhamento que ocorre em torno de uma carga pontual (MONTROYA *et al.*, 2009).

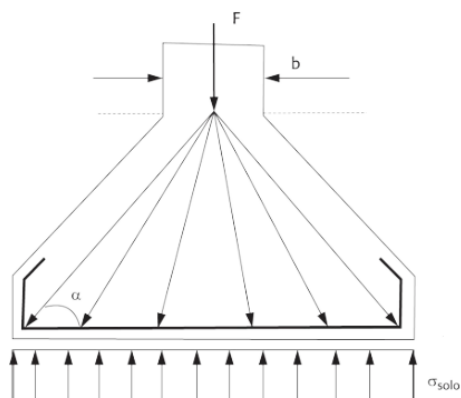
Na Figura 6 estão mostradas as distribuições de pressões no solo aplicadas na base de sapatas rígidas e flexíveis, respectivamente, ambas com carga centrada, em função do tipo de solo e da rigidez. As sapatas perfeitamente rígidas não se curvam, e se ocorrer recalque, este é uniforme, porém a pressão no solo não é uniforme. Já nas sapatas perfeitamente flexíveis, acontece o contrário. Para as sapatas que se encontram apoiadas sobre solos granulares (como a areia), a pressão no centro é maior, e decresce em direção às bordas da sapata. Já em solos argilosos, a pressão é menor no centro e maior próximo às bordas. Torna-se complexo analisar uma pressão considerada não uniforme (em sapatas rígidas), sendo esta muito variável e com pouca influência na intensidade dos momentos fletores e das forças cortantes na sapata. Assim, assume-se uma uniformidade sob carregamentos concêntricos, como está mostrado na Figura 7, o que resulta em esforços solicitantes maiores. (BASTOS, 2015). Este trabalho tem foco no estudo de sapatas rígidas.

Figura 6 - Distribuição de tensões em sapatas rígidas e sapatas flexíveis



Fonte: Adaptado de Montoya *et al.* (2009)

Figura 7 - Sapata rígida com tensão uniforme no solo



Fonte: Adaptado de Campos (2015)

A NBR 6118 (ABNT, 2014) comenta que a sapata é considerada rígida se verificada a Equação 4, e pode-se admitir que a distribuição de tensões normais no contato da sapata com o terreno seja plana, em caso de não haver informações a respeito. A norma complementa que as sapatas flexíveis, embora de uso mais raro, são utilizadas para fundação de pequenas cargas e solos relativamente fracos.

$$h \geq \frac{A - a_p}{3} \quad (4)$$

Onde:

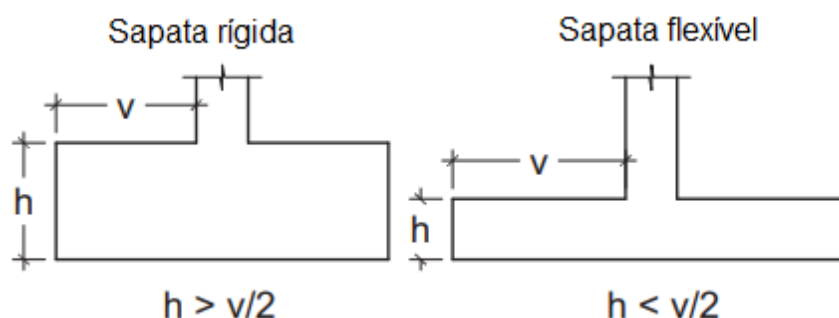
h = altura da sapata;

A = dimensão da sapata em uma determinada direção;

a_p = dimensão do pilar na mesma direção.

Já Montoya *et al.* (2009) classificam a sapata como rígida ou flexível se obedecer às condições de altura da Figura 8, respectivamente.

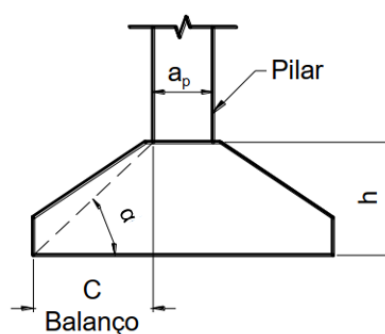
Figura 8 - Condição para sapata rígida e sapata flexível



Fonte: Adaptado de Montoya *et al.* (2009)

Segundo o *Comité Euro-International du Beton*, de 1970, (CEB-70) (1974 *apud* CAMPOS, 2015, p. 197), a sapata é classificada como rígida se $26,56^\circ \leq \alpha \leq 56,3^\circ$ (Figura 9).

Figura 9 - Ângulo α e balanço c

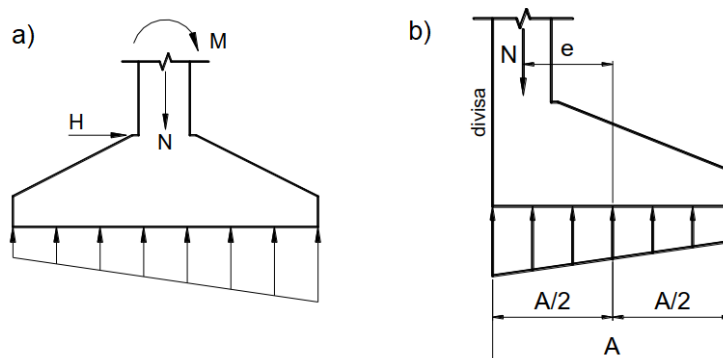


Fonte: Bastos (2019)

As sapatas também podem ser classificadas como centradas ou excêntricas. De acordo com Velloso e Lopes (2011), uma sapata é considerada centrada quando a resultante do carregamento passa pelo centro de gravidade da área da base. Bastos (2019) comenta que a excentricidade nas sapatas pode ser causada quando existem momentos fletores ou forças horizontais no pilar, como apresentado na Figura 10a, e também quando a carga vertical está aplicada fora do centro de gravidade da base da sapata, caso que ocorre em sapatas de divisa, ilustrado na Figura 10b. Para este último caso, existem três possibilidades de fundação direta: a sapata excêntrica de divisa sem viga alavanca, a sapata excêntrica de divisa com viga alavanca (equilíbrio) (BASTOS, 2019) e a sapata com viga de transição (em balanço) (REBELLO, 2008).

Estas serão explicadas nos itens 2.2, 2.3 e 2.4, respectivamente. Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019), a profundidade mínima de apoio das sapatas nas divisas não deve ser inferior a 1,5m, exceto quando a sapata estiver sobre rocha. Se a sapata tiver dimensões inferiores a 1,0m, pode-se reduzir esta profundidade mínima.

Figura 10 - Sapatas isoladas sob ações excêntricas

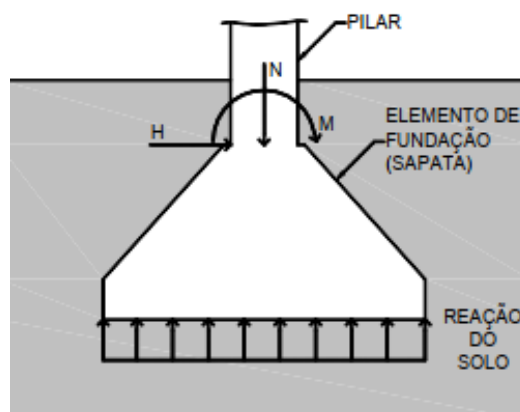


Fonte: Adaptado de Bastos (2019)

2.1.1 Sapatas isoladas rígidas com carga centrada

As ações que geralmente ocorrem nas sapatas são: força normal (N), momentos fletores, em uma ou em duas direções (M_x e M_y), e força horizontal (H), como está mostrado na Figura 11 (BASTOS, 2019).

Figura 11 - Ações na sapata isolada



Fonte: Bastos (2019)

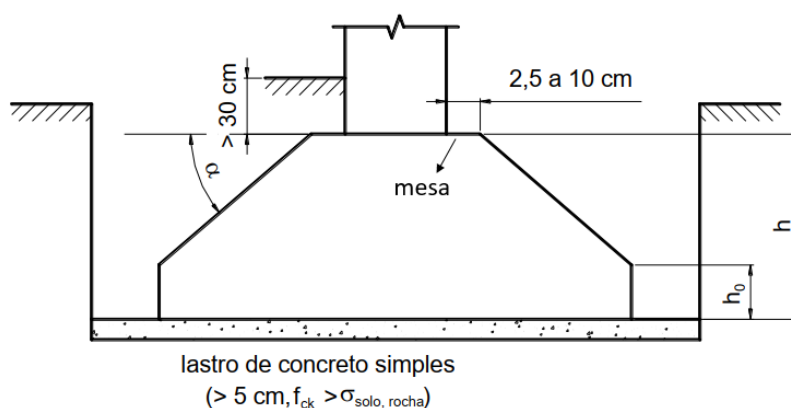
São vários os métodos para se dimensionar uma sapata isolada rígida, como: método do CEB-70, método do ACI 318 e o Método das Bielas e Tirantes (Blévtot). As fases do projeto de uma sapata isolada rígida são: estimativa das dimensões da

sapata; dimensionamento das armaduras de flexão; verificações das tensões de compressão diagonais, da aderência da armadura de flexão e do equilíbrio quanto ao tombamento e ao deslizamento (BASTOS, 2019). Neste trabalho será considerado o método do CEB-70, descrito por Bastos (2019), assim como considerações da NBR 6118 (ABNT, 2014).

A fim de facilitar o apoio e montagem da forma do pilar, a superfície de topo da sapata deve ter um plano horizontal (mesa) maior que a seção transversal do pilar, com pelo menos 2,5 cm (Figura 12). Sugere-se que as faces externas verticais (h_0) sejam executadas com as condições da Equação 5, para evitar possível ruptura nos lados da sapata. É preferível que o ângulo de inclinação da sapata (α), como está representado na Figura 12, seja igual ou menor do que 30° , para evitar a necessidade de fôrma na construção da sapata, sendo este o ângulo do talude natural do concreto fresco (BASTOS, 2019).

$$h_0 \geq \begin{cases} h/3 \\ 15 \text{ cm} \end{cases} \quad (5)$$

Figura 12 - Detalhes construtivos para a sapata



Fonte: Adaptado de Bastos (2019)

2.1.1.1 Dimensões da sapata

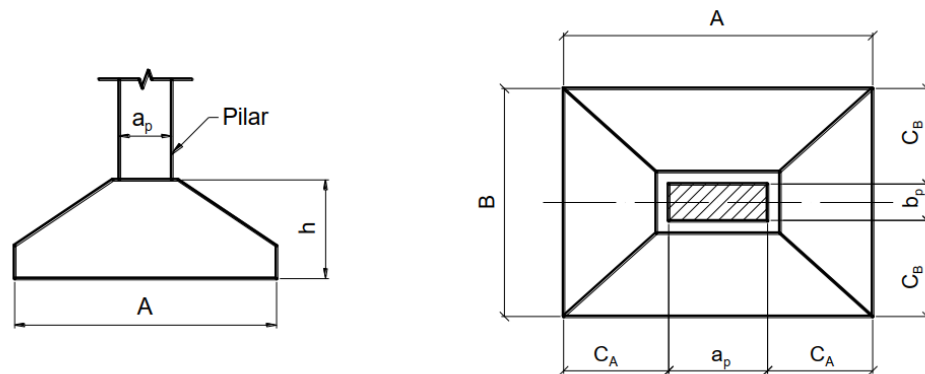
Na Figura 13, estão representadas as dimensões de uma sapata isolada. Os balanços C_A e C_B são distâncias medidas da face do pilar até a extremidade da sapata, na direção A e B, respectivamente. Determinam-se as dimensões A e B de forma que os balanços sejam iguais ou semelhantes, afim de obter armaduras de flexão

semelhantes em ambas direções. Assim, considerando que $C_A=C_B$, tem-se as Equações 6 e 7 (BASTOS, 2019).

$$A - a_p = B - b_p \quad (6)$$

$$A - B = a_p - b_p \quad (7)$$

Figura 13 - Dimensões da sapata isolada



Fonte: Bastos (2019)

A área da base da sapata (área de apoio) pode ser determinada pela Equação

8.

$$S_{sap} = \frac{K_{maj} \cdot N_{gk} + N_{qk}}{\sigma_{adm}} \quad (8)$$

Onde:

N_{gk} = carga vertical das ações permanentes (valor característico);

N_{qk} = carga vertical das ações variáveis (valor característico);

K_{maj} = coeficiente majorador de carga vertical das ações permanentes;

N_{gk} = carga vertical das ações permanentes (valor característico);

σ_{adm} = tensão admissível do solo.

Bastos (2019) explica que o coeficiente K_{maj} tem como finalidade de estimar o peso próprio da sapata e do solo sobre a mesma. A NBR 6122 (ABNT, 2019) diz que se deve considerar o peso próprio das sapatas ou no mínimo 5% da carga vertical permanente. Campos (2015), recomenda para o K_{maj} o valor de 1,05 a 1,10 (5% a

10%) para sapatas rígidas e, quando não conhecida a parcela permanente separadamente, aplica-se 5% para toda a carga.

Segundo Bastos (2019), para balanços iguais nas duas direções ($C_A=C_B$), a área da base da sapata pode ser calculada com a Equação 9.

$$S_{sap} = A \cdot B \quad (9)$$

Onde:

A = maior dimensão em planta;

B = menor dimensão em planta.

Isolando os termos e substituindo na Equação 7, tem-se a Equação 10, com a área da sapata definida pela Equação 8.

$$B = \frac{1}{2} \cdot (b_p - a_p) + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot (b_p - a_p)^2 + S_{sap}} \quad (10)$$

Onde:

B = menor dimensão da sapata em planta

b_p = menor dimensão do pilar em planta

a_p = maior dimensão do pilar em planta

S_{ap} = área da sapata

Por questões práticas, Bastos (2019) comenta que as dimensões A e B sejam múltiplas de 5 cm. A NBR 6122 (ABNT, 2019) recomenda que estas dimensões não sejam inferiores a 60 cm.

Já para balanços que não são iguais nas duas direções ($C_A \neq C_B$), é recomendada a relação entre lados, apresentada nas Equações 11 e 12 (BASTOS, 2019).

$$\frac{A}{B} \leq 3,0 \quad (11)$$

$$\frac{A}{B} = R \quad (12)$$

Sendo R a relação entre os lados e, substituindo os termos na Equação 9, tem-se a Equação 13. O valor de R deve ser definido entre 1 e 3, e calcular a área da sapata com a Equação 8 (BASTOS, 2019).

$$B = \sqrt{\frac{S_{sap}}{R}} \quad (13)$$

2.1.1.2 Verificação da diagonal comprimida

Como mencionado anteriormente, na sapata rígida não ocorre efeito de punção. Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), o comportamento estrutural das sapatas rígidas pode ser caracterizado, além do trabalho à flexão nas duas direções, também pelo trabalho ao cisalhamento nas duas direções, apresentando ruptura somente por compressão diagonal, e não por tração diagonal, isso devido a sapata rígida ficar inteiramente dentro do cone hipotético de punção, assim não havendo possibilidade de punção. A norma comenta que se deve verificar a tensão resistente de compressão diagonal do concreto na superfície crítica C, no perímetro do pilar (Figura 14). Segundo Bastos (2019), verifica-se indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto através da tensão de cisalhamento atuante na superfície crítica. Compara-se a tensão de cisalhamento solicitante (τ_{sd}) (Equação 14), com a tensão de cisalhamento resistente (τ_{Rd2}) (Equação 15).

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u_0 \cdot d} \quad (24)$$

Onde:

F_{sd} = força solicitante de cálculo;

u_0 = perímetro de contorno crítico C;

d = altura útil ao longo do contorno crítico C.

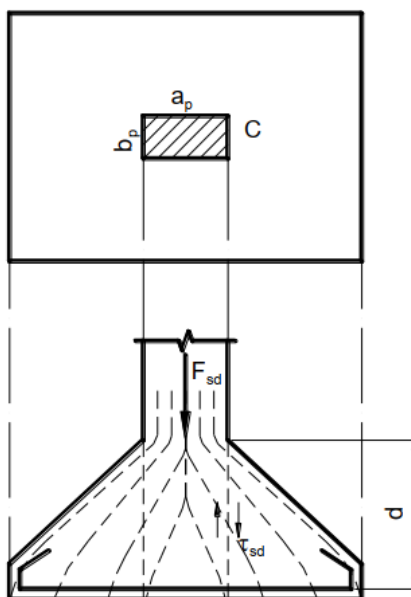
$$\tau_{Rd2} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \quad (15)$$

Onde:

f_{ck} = resistência característica do concreto, em MPa;

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto, em MPa.

Figura 14 - Tensão de cisalhamento na sapata



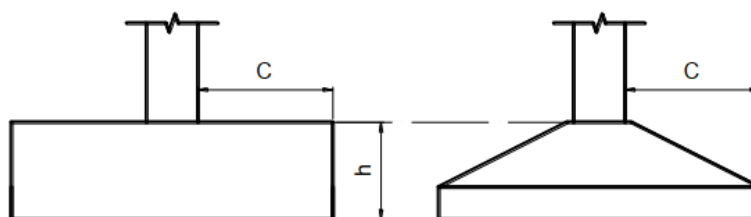
Fonte: Bastos (2019)

2.1.1.3 Projeto considerando o CEB-70

Bastos (2019) segue o dimensionamento da sapata conforme o método da norma europeia CEB-70. As sapatas devem apresentar as condições geométricas da Equação 16, representadas na Figura 15. Caso $c > 2h$, pode-se considerar a sapata como uma viga ou como placa, e calculada com o método adequado. Se $c < h/2$, em qualquer direção, admite-se que se trata de um bloco de fundação, e o método não se aplica.

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2 \cdot h \quad (3)$$

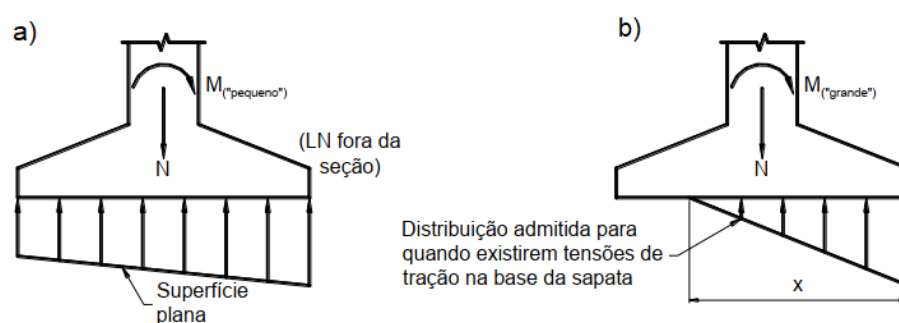
Figura 15 - Balanço c e altura h na sapata isolada



Fonte: Bastos (2019)

É admitido um comportamento elástico para o solo, e as forças elásticas que ele transmite para a sapata através da superfície de apoio, asseguram unicamente a sua estabilidade. Assim, a distribuição das tensões devidas às reações do solo sobre a superfície de apoio da sapata é plana (Figura 16a). Quando o sistema de forças externas aplicadas à sapata não puder ser equilibrado sem aparecer tensões de tração na superfície da mesma, pode-se admitir a distribuição de tensões apresentada na Figura 16b. (SANTOS 1984 *apud* BASTOS, 2019 p.25).

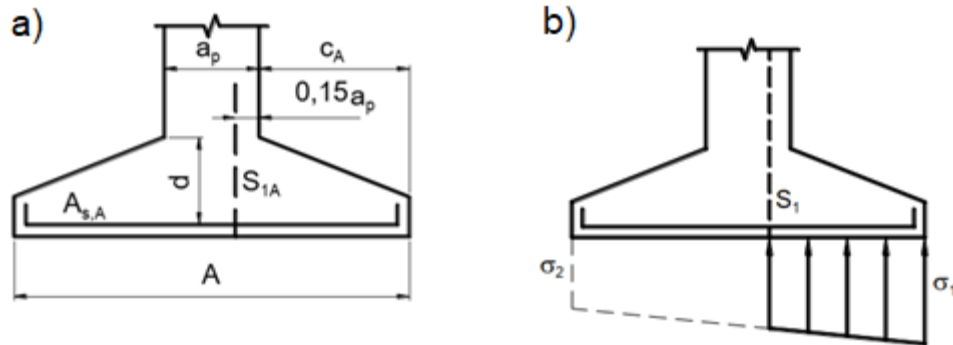
Figura 16 - Distribuição da reação do solo na base da sapata



Fonte: Bastos (2019)

2.1.1.3.1 Dimensionamento e disposições das armaduras de flexão

Calculam-se os momentos fletores para cada direção, em relação a uma seção de referência plana, S_{1A} ou S_{1B} , esta distante da face do pilar de $0,15a_p$ ou $0,15b_p$. A altura útil d , da seção de referência, situa-se na seção paralela à S_1 , na face do pilar, devendo obedecer à condição $d \leq 1,5C_A$ ou $d \leq 1,5C_B$. Na Figura 17a, observa-se a seção de referência S_{1A} , relativa à dimensão A da sapata. Este momento fletor é calculado considerando a reação do solo atuando na base da sapata, limitada pela seção S_1 , e a extremidade da sapata mais próxima de S_1 . (Figura 17b). O cálculo da armadura de flexão, esta que atravessa perpendicularmente a seção S_1 , é feito como nas vigas à flexão simples, e considera-se as características geométricas desta seção de referência. O peso da sapata e do solo acima dela não causam flexão na sapata, portanto não são considerados no cálculo do momento fletor. Se o momento fletor resultante for negativo, deve-se ter uma armadura negativa na parte superior da sapata (BASTOS, 2019).

Figura 17 - Seção de referência S_{1A} 

Fonte: Bastos (2019)

Os balanços C_A e C_B (Figura 18) são calculados conforme as Equações 17 e 18.

$$C_A = \frac{A - a_p}{2} \quad (4)$$

$$C_B = \frac{B - b_p}{2} \quad (18)$$

A pressão exercida no solo pela sapata, correspondente à reação do solo, é obtida pela Equação 19, onde N_k corresponde à carga característica do pilar.

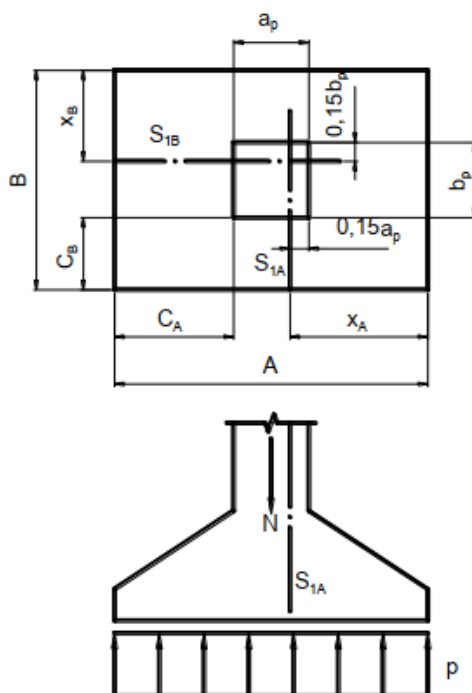
$$p = \frac{N_k}{A \cdot B} \quad (19)$$

As distâncias X_A e X_B são dadas pelas Equações 20 e 21.

$$X_A = C_A + 0,15 \cdot a_p \quad (5)$$

$$X_B = C_B + 0,15 \cdot b_p \quad (6)$$

Figura 18 - Notações e seções de referência S_{1A} e S_{1B}



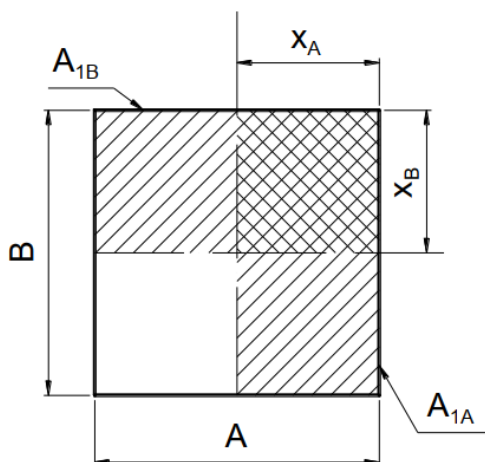
Fonte: Bastos (2019)

As áreas da base da sapata, consideradas no cálculo dos momentos fletores, estão apresentadas nas Equações 22 e 23, e representadas na Figura 19.

$$A_{1A} = X_A \cdot B \quad (7)$$

$$A_{1B} = X_B \cdot A \quad (83)$$

Figura 19 - Áreas de referência no cálculo dos momentos fletores



Fonte: Bastos (2019)

Assim, determinam-se as forças resultantes, R_{1A} e R_{1B} , Equações 24 e 25, considerando a pressão no solo (p) atuante em cada área de influência (Figura 20).

$$R_{1A} = p \cdot A_{1A} \quad (24)$$

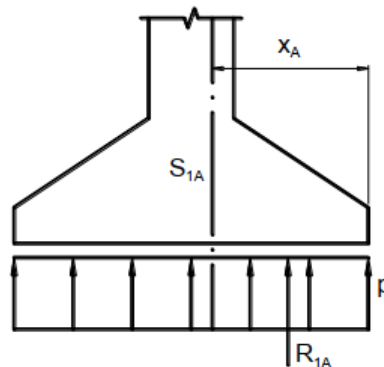
$$R_{1B} = p \cdot A_{1B} \quad (25)$$

Os momentos fletores em relação às seções de referência S_{1A} e S_{1B} são calculados conforme as Equações 26 e 27.

$$M_{1A} = p \cdot \frac{X_A^2}{2} \cdot B \quad (26)$$

$$M_{1B} = p \cdot \frac{X_B^2}{2} \cdot A \quad (27)$$

Figura 20 - Resultante da pressão no solo

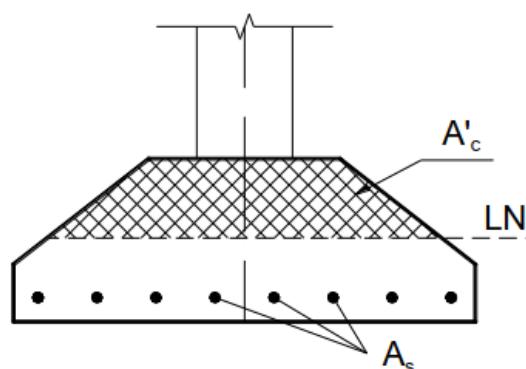


Fonte: Bastos (2019)

Quando as superfícies superiores da sapata são inclinadas, na forma de um trapézio (Figura 21), sendo esta a área comprimida de concreto (A'_{cs}), deve-se ter esta consideração no cálculo. Porém, segundo Machado (1985), para simplificação de cálculo, admite-se uma seção retangular com um braço de alavanca de $z = 0,85 \cdot d$, e assim o erro cometido não ultrapassa 10%. A área de aço é encontrada pela Equação 28.

$$A_s = \frac{M_d}{0,85 \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (28)$$

Figura 21 - Área comprimida pela flexão (A'_c)

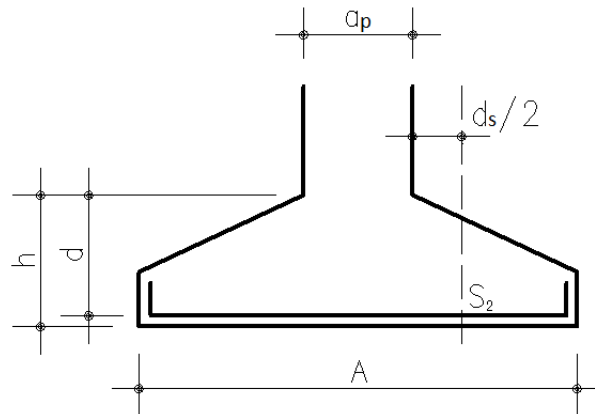


Fonte: Bastos (2019)

É recomendado que o espaçamento entre as barras da armadura de flexão esteja no intervalo entre 10cm e 20cm, a fim de evitar possíveis problemas de preenchimento do concreto entre as barras, e assim diminuir possibilidade de fissuras. (BASTOS, 2019). Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a armadura de flexão deve-se estender face a face da sapata, sendo distribuída uniformemente ao longo da sua largura, e terminar em gancho nas duas extremidades. A norma complementa que para barras com diâmetro maior ou igual a 25mm, deve-se verificar o fendilhamento em plano horizontal, pois a malha da armadura pode sofrer destacamento. Bastos (2019) afirma que esta consideração da norma serve para sapatas de base quadrada, já para as de base retangular, a armadura paralela ao lado A (maior lado) deve ser distribuída uniformemente sobre a largura do lado B (menor lado).

2.1.1.3.2 Verificação da força cortante

O método do CEB-70 considera que deve-se verificar a força cortante nas duas direções da sapata, atuante em uma seção de referência S_2 , distante $d/2$ da face do pilar, como mostrado na Figura 22 (BASTOS, 2019). Para o autor, é dispensada a verificação da força cortante para as sapatas rígidas.

Figura 22 - Seção de referência S_2 

Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA (20--)

2.1.1.4 Verificação ao tombamento e ao escorregamento

Segundo Campos (2015), no caso de existência de força horizontal na fundação, esta deve ser considerada para verificação da segurança ao tombamento e verificação ao escorregamento.

O coeficiente de segurança o tombamento ($\gamma_{f,t}$) dever ser maior ou igual a 1,5, sendo que o ponto de tensão nula não pode ultrapassar o centro da sapata (Figura 23). Para verificar quanto ao tombamento, considerando uma força horizontal (F_H), utiliza-se as Equações 29, 30 e 31 (CAMPOS, 2015).

$$\gamma_{f,t} = \frac{M_{res.}}{M_{tomb.}} \geq 1,5 \quad (29)$$

Em que:

$$M_{tomb.} = N \cdot e + F_H \cdot h \quad (30)$$

$$M_{res.} = N \cdot \frac{B}{2} \quad (31)$$

Onde:

$M_{res.}$ = Momento resistente;

$M_{tomb.}$ = Momento de tombamento;

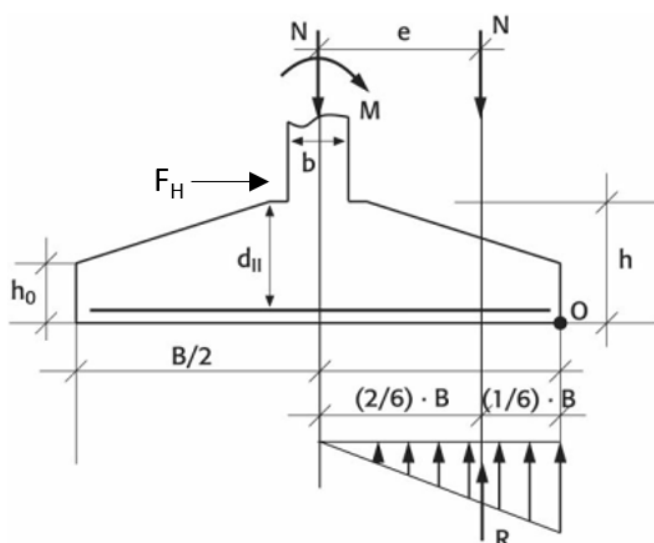
N = carga vertical característica;

F_H = força horizontal;

h = altura da sapata;

B = dimensão suscetível ao tombamento.

Figura 23 - Esforços solicitantes e tensões de reação na sapata para verificação ao tombamento



Fonte: Adaptado de Campos (2015)

Já Bastos (2019), comenta que em sapatas com excentricidade, pelo menos a metade da base deve estar comprimida, para garantir a segurança contra o tombamento na condição mais desfavorável. Assim, considera-se a Equação 32.

$$\left(\frac{e_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{e_B}{B}\right)^2 \leq \frac{1}{9} \quad (32)$$

Quanto ao escorregamento, considera-se o ângulo de atrito φ_1 , entre o solo e o elemento de concreto, conforme o tipo de solo, como mostrado no Quadro 2 e na Tabela 4. O coeficiente de segurança para o deslizamento também é 1,5. Para a verificação, consideram-se as Equações 33, 34 e 35 (CAMPOS, 2015).

$$\gamma_{f,e} = \frac{F_{H,resist}}{F_H} \geq 1,5 \quad (33)$$

Em que:

$$F_{H,resist} = \mu (N + A' \cdot Ca) \quad (34)$$

$$\mu = tg \varphi_1 \cdot d \quad (35)$$

Onde:

A' = área efetiva da sapata em contato com o solo;

C_a = aderência entre o solo e a fundação (adotado como 0,6 para sapata quadrada e $1 - 0,3 \cdot B_2'/B_1' < 0,9$ para sapata retangular, onde B_1' é o maior lado);

d = fator de profundidade por causa da carga permanente com valor igual a 1,0.

Quadro 2 - Ângulo de atrito entre o solo e a sapata

Ângulo de atrito entre o solo e a sapata φ_1	
φ_1	$\varphi_1 = 0$: Paramento liso
	$\varphi_1 = 0,5\varphi$: Paramento parcialmente rugoso
	$\varphi_1 = \varphi$: Paramento rugoso

Fonte: Adaptado de Campos (2015)

Tabela 4 - Ângulo de atrito interno do solo

Tipo de solo	Massa específica do solo (kN/m ³)	Coefficiente de atrito interno do solo (φ)
Terra de jardim naturalmente úmida	17	25°
Areia e saibro com umidade natural	18	30°
Areia e saibro naturais	20	27°
Cascalho e pedra britada	18 a 19	40° a 30°
Barro e argila	21	17° a 30°

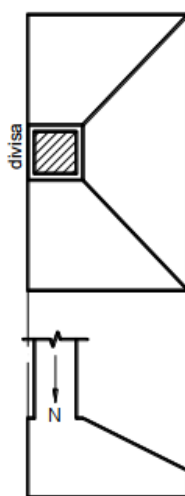
Fonte: Adaptado de Campos (2015)

2.2 Sapata isolada excêntrica de divisa (sem viga de equilíbrio)

A sapata isolada de divisa é utilizada quando o pilar se encontra em uma posição faceando a divisa de uma construção (Figura 24), e assim, não se deve avançar com a fundação no terreno vizinho, além dessa divisa, devido a existência de bulbos de tensão. O bulbo de tensões é o conjunto de curvas isobáricas (Figura 25a), ou seja, curvas de iguais tensões. Em uma certa profundidade no bulbo, as tensões transmitidas ao solo são desconsideradas, devido a serem muito baixas, mas na prática considera-se esta profundidade como o dobro da maior dimensão em planta da sapata. Quando existe a sapata na divisa de um terreno, pode ser que no terreno vizinho, na divisa ou próxima desta, exista outra sapata (de divisa ou não), e pode

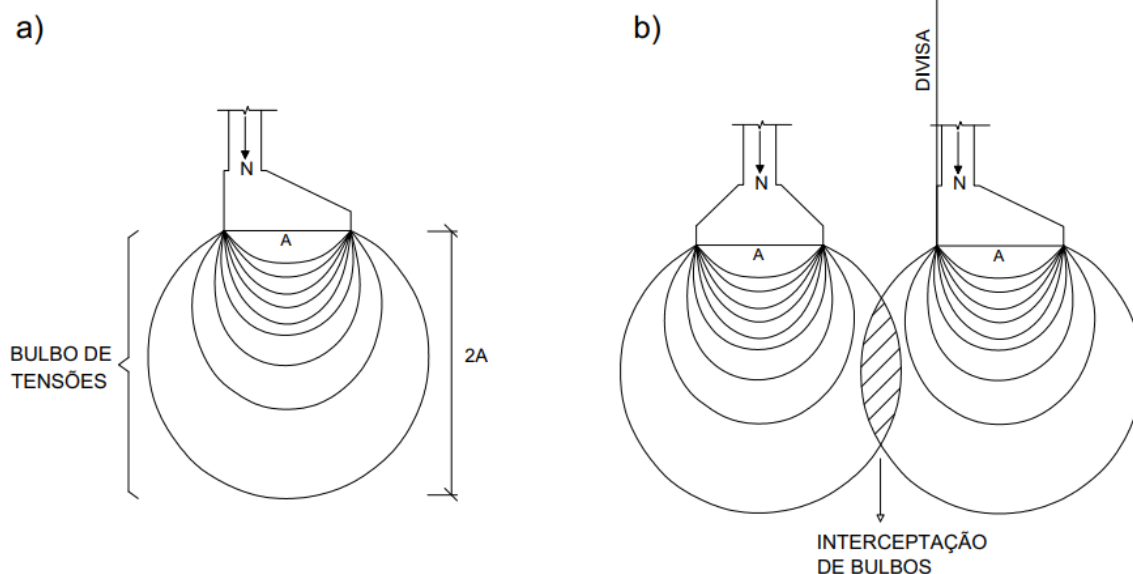
ocorrer uma interceptação de bulbos (Figura 25b), assim causando uma soma de tensões que podem levar a ruptura se superar a capacidade do solo, gerando um grande recalque. (REBELLO, 2008). Segundo Velloso e Lopes (2011), a sapata impõe tensões sob um elemento de fundação vizinho. Os autores definem bulbo de tensões como a região abaixo de uma fundação que sofre um aumento de tensão vertical de pelo menos 10% da pressão aplicada pela fundação.

Figura 24 - Sapata excêntrica de divisa



Fonte: Bastos (2019)

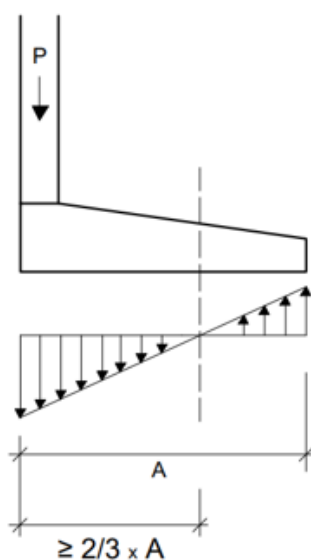
Figura 25 - Bulbo de tensão



Fonte: Adaptado de Rebello (2008)

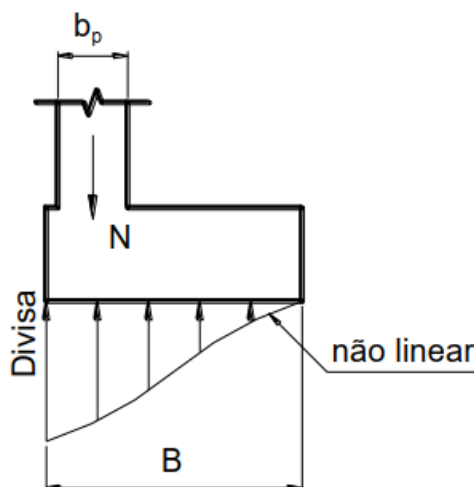
Para grandes cargas ou excentricidades, pode ocorrer de as tensões nas pontas da sapata serem negativas, como se o solo estivesse submetido à tensão de tração, como observa-se na Figura 26. Porém, o solo não é capaz de reagir a essa possível tração, e assim, a sapata fica parcialmente apoiada. (REBELLO, 2008). Segundo Bastos (2019), em sapatas de divisa sem viga de equilíbrio, a sapata, conjuntamente com o solo em que está apoiada, devem ser capazes de resistir à flexão causada pela excentricidade do pilar. A NBR 6122 (ABNT 2019) recomenda que para cargas excêntricas em fundações rasas, quando consideradas as solicitações características, a área comprimida da base da sapata deve ser de no mínimo $2/3$ da sua área total, e quando consideradas as solicitações de projeto, $1/2$ da sua área total. Bastos (2019) menciona que para não ocorrer tração na base da sapata, a largura B deve respeitar a condição de $B \leq 1,5 b_p$, e também recomenda que $A \leq 2B$. Quando $A > 2B$, pode-se utilizar viga associada à sapata, coincidindo o centro da viga com o centro do pilar, a fim de evitar torção na viga. A reação no solo não é linear (Figura 27), porém, por simplificação, adota-se distribuição linear.

Figura 26 - Tensão de tração da sapata excêntrica de divisa



Fonte: Adaptado de Rebello (2008)

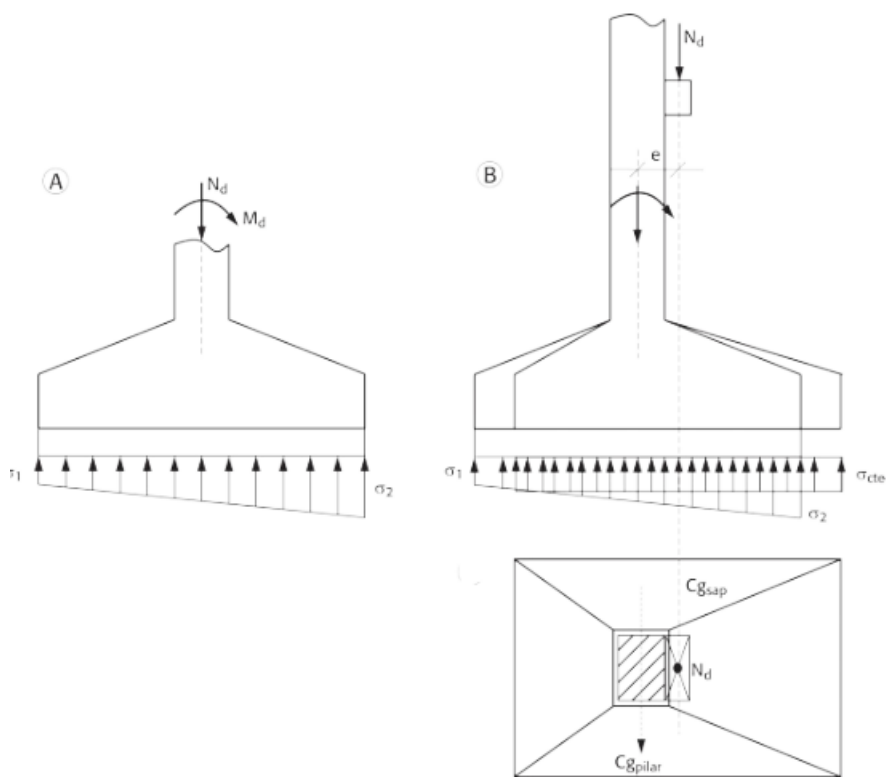
Figura 27 - Tensão no solo de uma sapata excêntrica sob pilar de divisa



Fonte: Bastos (2019)

A sapata é solicitada à flexão composta quando está submetida por uma força normal e por um momento fletor, e a distribuição das tensões no solo são variáveis, com a carga excêntrica, e tensões constantes com a carga coincidindo no centro de gravidade da base da sapata, como pode ser observado na Figura 28. As equações de Resistência dos Materiais só podem ser aplicadas quando as tensões (σ_1 e σ_2) são de compressão e, se forem de tração, estas equações já não podem ser aplicadas, pois o solo não absorve tração. Quando as tensões forem de tração deve-se analisar como um material não resistente à tração ou deslocar a sapata para o centro de aplicação de carga (Figura 28b), a fim de evitar o aparecimento de variação de tensão. Porém, nem sempre é possível coincidir o centro de gravidade da sapata com o ponto de aplicação da carga, assim, é necessário calcular a sapata submetida à flexão composta. (CAMPOS, 2015).

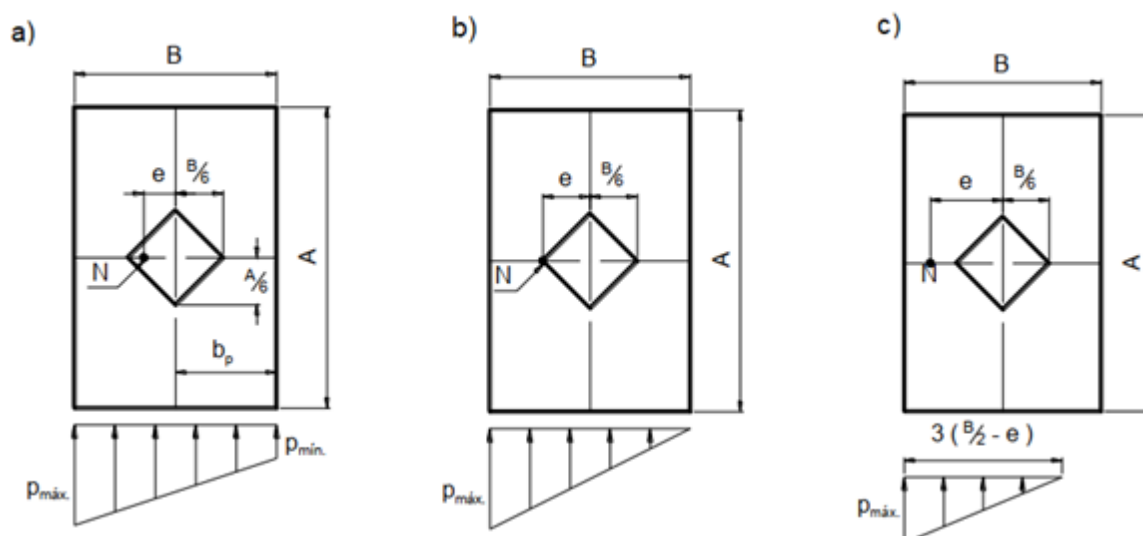
Figura 28 - (a) Distribuição de tensões no solo e (b) deslocamento da sapata para o centro de gravidade de aplicação da carga



Fonte: Campos (2015)

Para a consideração do efeito da excentricidade na sapata, existem três possibilidades em relação ao ponto de aplicação da carga: dentro, no limite, e fora do núcleo central de inércia (Figura 29) (BASTOS, 2019).

Figura 29 - Aplicação da carga em relação ao núcleo central de inércia



Fonte: Adaptado de Bastos (2019)

- a) Ponto de aplicação da carga dentro do núcleo central de inércia quando $e < B/6$, com $B < 1,5b_p$, (Figura 29a), utilizam-se as Equações 36, 37 e 38.

$$\sigma = \frac{N}{A \cdot B} \pm \frac{M \cdot y}{I} \quad (36)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A \cdot B} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right) \leq 1,3\sigma_{adm} \quad (37)$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \frac{N}{A \cdot B} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B} \right) \quad (38)$$

- b) Ponto de aplicação da carga no limite do núcleo central de inércia: quando $e = B/6$, com $B = 1,5b_p$, (Figura 29b), utiliza-se a Equação 39.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 2 \cdot \frac{N}{A \cdot B} \leq 1,3\sigma_{adm} \quad (39)$$

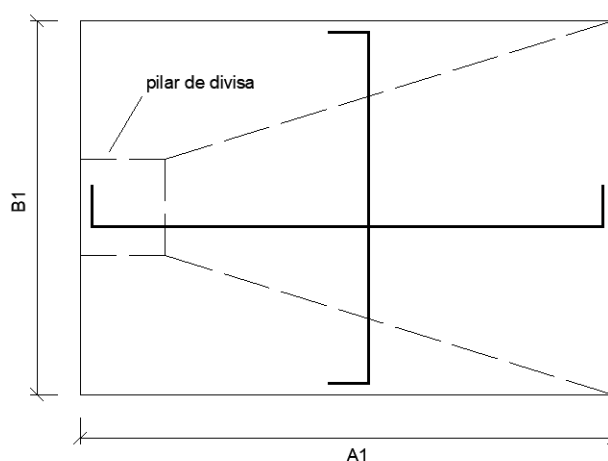
- c) Ponto de aplicação da carga fora do núcleo central de inércia: quando $e > B/6$, $B = 1,5b_p$, (Figura 29c). Parte da base da sapata e do solo fica sob tensões de tração ($\sigma_{m\acute{i}n} < 0$), assim, adota-se um novo diagrama triangular, excluindo a zona de tracionada, e com o centro de gravidade coincidindo com o limite do novo núcleo central. Com isso, a tensão de compressão máxima é calculada com a Equação 40.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot B \cdot \left(\frac{B}{2} - e\right)} \leq 1,3\sigma_{adm} \quad (40)$$

O cálculo para as dimensões e armaduras da sapata isolada de divisa segue conforme a sapata isolada com carga centrada, porém com as consideraoes de excentricidades apresentadas acima.

Afim de diminuir as tensões no solo deve-se aumentar a seao da sapata, assim, é mais eficiente alterar a dimensão perpendicular à divisa, dimensão A (Figura 30), aumentando-a, pois assim confere um grande aumento de inércia. Porém, se a dimensão A for muito grande, a sapata pode perder a rigidez e tornar-se ineficiente, pois a transmissão de tensões não seria feita em toda a extensão da sapata. De forma a aumentar sua rigidez e garantir uma melhor distribuiao de tensões no solo em toda a área da sapata, deve-se aumentar a sua espessura, no entanto, isto provoca um aumento no consumo de concreto, logo, a alternativa para diminuir este custo é utilizar a viga alavanca (REBELLO, 2008).

Figura 30 - Armadura na sapata de divisa



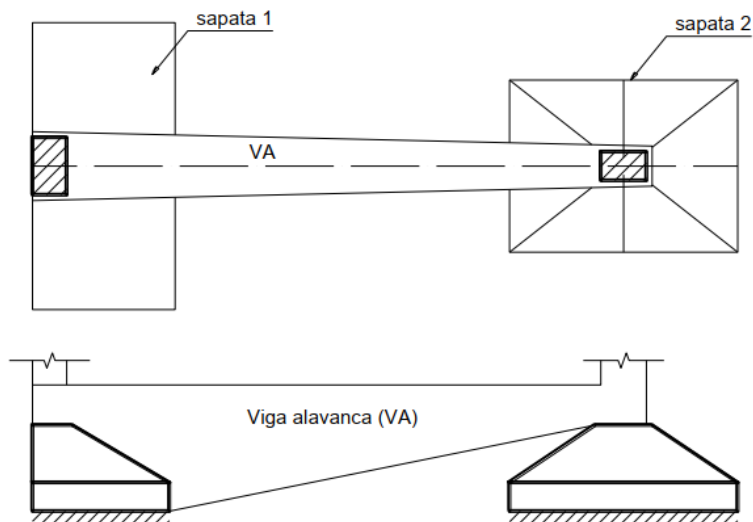
Fonte: Adaptado de Rebello (2008)

2.3 Sapatas excêntricas de divisa com viga de equilíbrio (ou viga alavanca)

A viga de equilíbrio ou viga alavanca, apresentada na Figura 31, consiste em outra soluao para o caso de pilar posicionado na divisa de um terreno. Esta viga, geralmente vinculada na outra extremidade a um pilar interno da edificaao, absorve o momento fletor gerado, este resultante da excentricidade. A viga também transfere

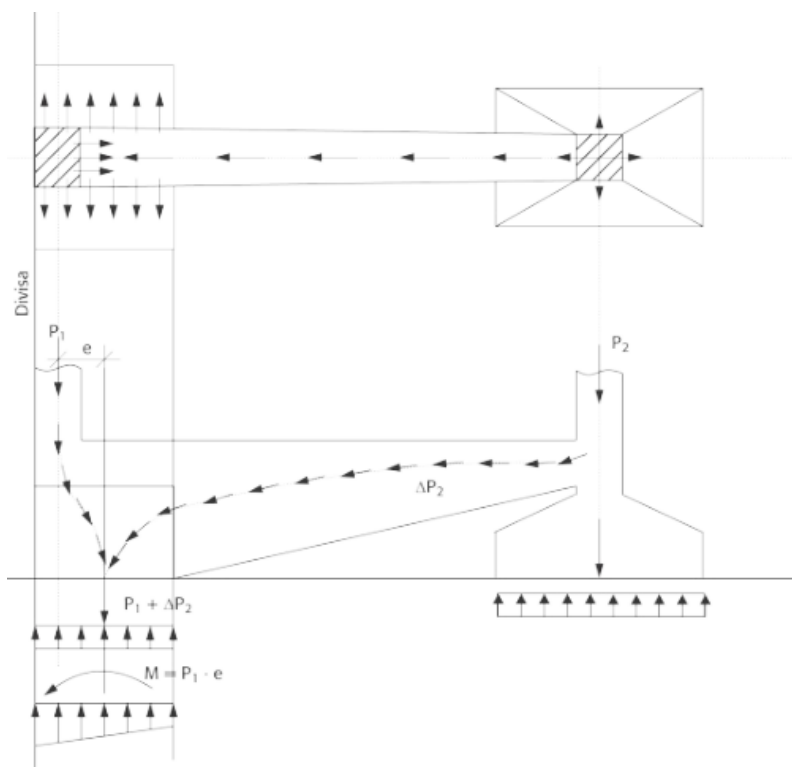
a carga do pilar para o centro da sapata de divisa (BASTOS, 2019). Conforme Montoya (2009), a distribuição de pressão não é uniforme, assim, a sapata tende a girar e produz ações horizontais sobre a estrutura e o solo. Na Figura 32 está representado o carregamento e caminhamento de cargas da viga de equilíbrio.

Figura 31 - Pilar de divisa sobre sapata combinada com viga alavanca



Fonte: Bastos (2019)

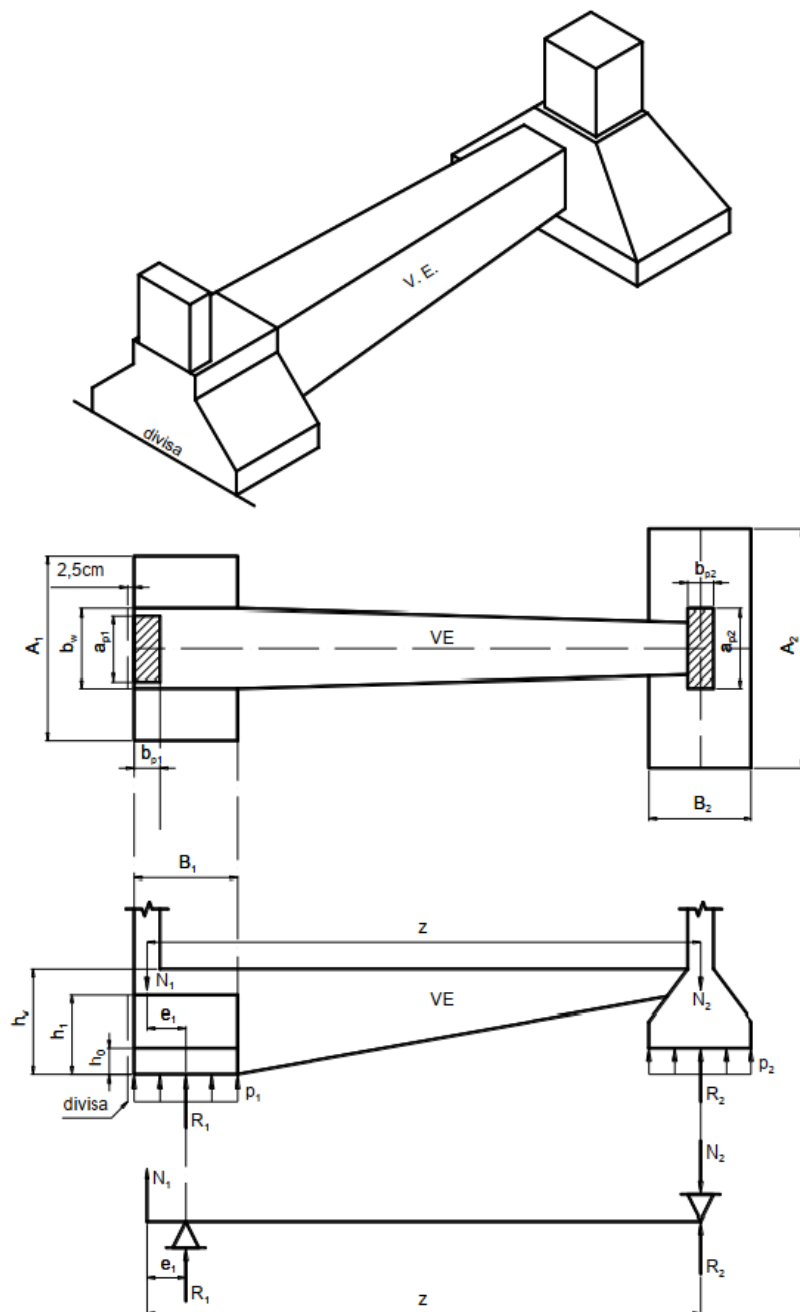
Figura 32 - Cargas da viga de equilíbrio



Fonte: Campos (2015)

A Figura 33 apresenta a geometria e um possível modelo de cálculo de uma sapata de divisa com viga alavanca.

Figura 33 - Notações da sapata com viga alavanca (viga de equilíbrio)



Fonte: Bastos (2019)

Para o cálculo da área da sapata de divisa sob o pilar P1, utiliza-se a Equação 41. Para estimar o peso próprio da sapata e do solo sobre ela, considera-se o fator K_{maj} , como apresentado na Equação 42 (BASTOS, 2019).

$$S_1 = A_1 \cdot B_1 \quad (41)$$

$$S_1 = K_{maj} \cdot \frac{R_1}{\sigma_{adm}} \quad (42)$$

A NBR 6122 (ABNT, 2019) afirma que com a utilização da viga de equilíbrio, as cargas resultantes nas fundações são diferentes daquelas atuantes nos pilares. Através das equações de equilíbrio (Figura 33), tem-se a Equação 43 para o cálculo de R_1 , e da geometria da sapata de divisa tem-se a excentricidade e_1 (Equação 44).

$$R_1 = \frac{N_1 \cdot z}{z - e_1} \quad (43)$$

$$e_1 = \frac{B_1}{2} - \frac{b_{p1}}{2} \quad (44)$$

Inicialmente, Bastos (2019) estima as dimensões A_1 e B_1 , respeitando a condição $A_1/B_1 \leq 3$ e, para isso o autor arbitra uma majoração da carga do pilar sobre a sapata de divisa (R_1'), em 20% (Equação 45). Assim, calcula-se a área de apoio estimada (S_1') da sapata de divisa (Equação 46).

$$R_1' = 1,2 \cdot N_1 \quad (45)$$

$$S_1' = K_{maj} \cdot \frac{R_1'}{\sigma_{adm}} \quad (46)$$

Então, considerando que a maior dimensão (A_1) seja o dobro da menor (B_1), estima-se a última através da Equação 47, sendo B_1' um valor inteiro e múltiplo de 5cm.

$$B_1' = \sqrt{\frac{S_1'}{2}} \quad (47)$$

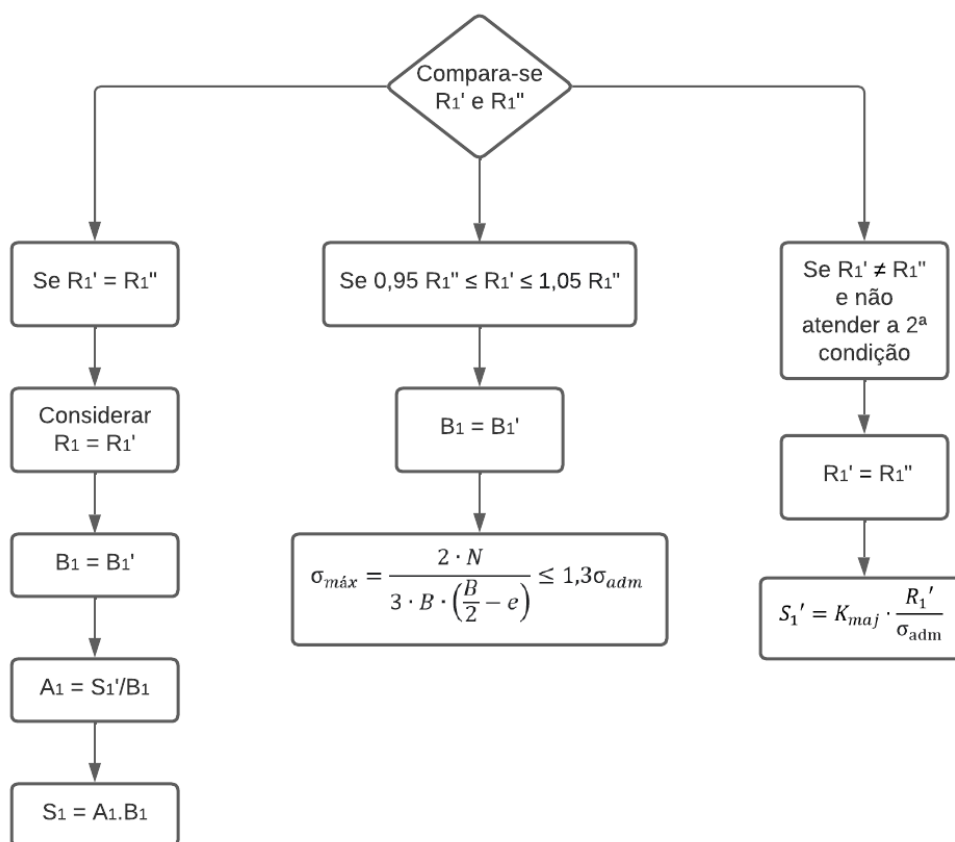
Assim, é calculada a excentricidade estimada (e_1'), apresentada na Equação 48, e a carga R_1'' devido à consideração da viga alavanca, (Equação 49).

$$e_1' = \frac{B_1'}{2} - \frac{b_{P1}}{2} \quad (498)$$

$$R_1'' = \frac{N_1 \cdot z}{z - e_1'} \quad (109)$$

Compara-se R_1' e R_1'' , e deve-se obedecer às condições da Figura 34.

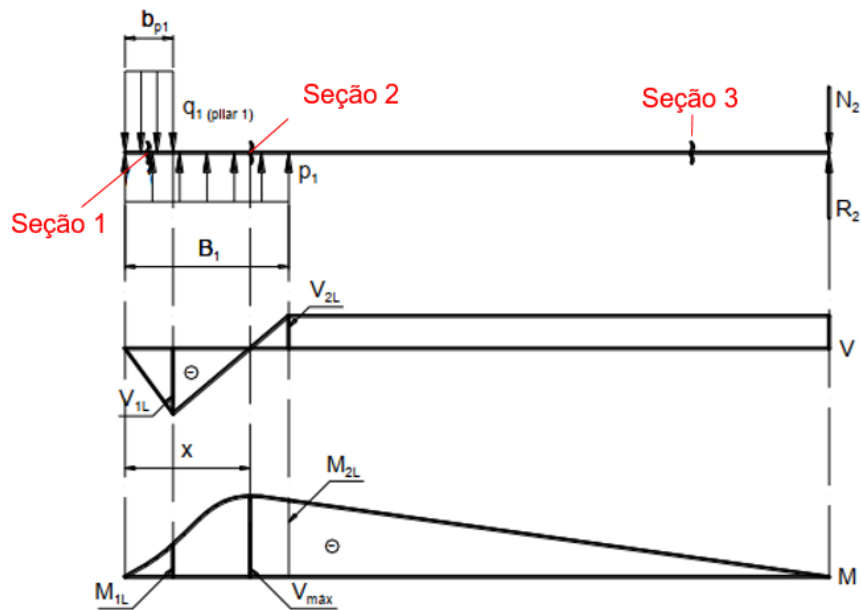
Figura 34 - Condições comparativas entre as forças R_1' e R_1''



Fonte: Adaptado de Bastos (2019)

Para determinar os esforços solicitantes na viga alavanca, Bastos (2019) utiliza o método das seções, obtendo uma equação de esforço cortante (V) e momento fletor (M) para cada seção transversal de referência (Figura 35).

Figura 35 - Diagramas de esforços solicitantes na viga alavanca e seções transversais de referência 1, 2 e 3



Fonte: Adaptado de Bastos (2019)

A carga q_1 , em kN/cm, (Equação 50) é a carga aplicada pelo pilar de divisa, ao longo de sua largura b_{p1} , e a reação da base da sapata de divisa é dada por p_1 (Equação 51), com R_1 calculado pela Equação 43.

$$q_1 = \frac{N_1}{b_{p1}} \quad (50)$$

$$p_1 = \frac{R_1}{B_1} \quad (51)$$

Para a seção 1 (Figura 35), tem-se o esforço cortante e momento fletor determinados pelas Equações 52 e 53, respectivamente.

$$V_{1L} = b_{p1} \cdot (p_1 - q_1) \quad (52)$$

$$M_{1L} = \frac{b_{p1}^2}{2} \cdot (p_1 - q_1) \quad (53)$$

Considerando-se a seção 2, utilizam-se as Equações 54, 55, 56 e 57.

$$x_{m\acute{a}x} = \frac{q_1 \cdot b_{p1}}{p_1} \quad (54)$$

$$M_{m\acute{a}x} = p_1 \cdot \frac{x_{m\acute{a}x}^2}{2} - q_1 \cdot b_{p1} \cdot \left(x_{m\acute{a}x} - \frac{b_{p1}}{2} \right) \quad (55)$$

Para $x_1 = B_1$, tem-se:

$$V_{2L} = p_1 \cdot B_1 - q_1 - b_{pl} \quad (56)$$

$$M_{2L} = p_1 \cdot \frac{B_1}{2} - q_1 \cdot b_{p1} \cdot \left(B_1 - \frac{b_{p1}}{2} \right) \quad (57)$$

Da mesma forma, para a seção 3 utilizam-se as Equações 58 e 59.

$$V_3 = p_1 \cdot B_1 - q_1 \cdot b_{p1} \quad (58)$$

$$M_3 = p_1 \cdot B_1 \cdot \left(x - \frac{B_1}{2} \right) - q_1 \cdot b_{p1} \cdot \left(x - \frac{b_{p1}}{2} \right) \quad (59)$$

Bastos (2019) ainda cita algumas recomendações para o pré-dimensionamento da viga alavanca, tais como:

- largura $b_w \geq a_{pl} + 5\text{cm}$;
- altura $h_v \geq h_1$ (h_1 = altura da sapata de divisa)
- altura útil $d_v > l_b$ (l_b = comprimento de ancoragem da armadura longitudinal do pilar).

Para o cálculo das armaduras da sapata de divisa (Figura 36), utiliza-se a Equação 60, sendo p_1 e x_A calculados pelas Equações 61 e 62, respectivamente.

$$F_{1A} = p_1 \cdot B_1 \cdot x_A \quad (60)$$

$$p_1 = \frac{R_1}{A_1 \cdot B_1} \quad (61)$$

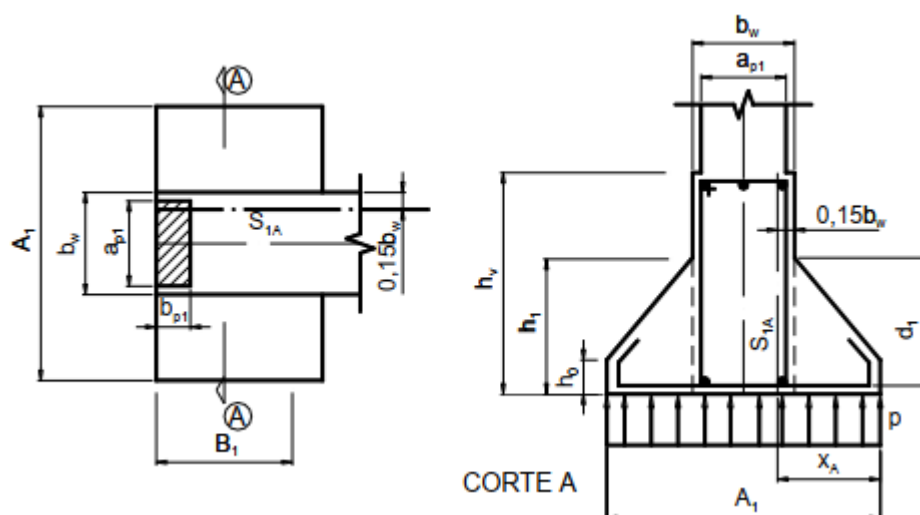
$$x_A = \frac{A_1 - b_w}{2} + 0,15 \cdot b_w \quad (62)$$

$$M_{1A} = F_{1A} \cdot \frac{x_A}{2} \quad (63)$$

A altura da sapata é determinada pelo critério de sapata rígida da NBR 6118 (ABNT, 2014), já apresentado na Equação 4, no item 2.1, porém agora substitui-se a dimensão a_p por b_w . A altura útil é determinada pela Equação 64.

$$d_1 = h_1 - 5\text{cm} \quad (64)$$

Figura 36 - Sapata sob o pilar de divisa e seções de referência S1 e S2



Fonte: Bastos (2019)

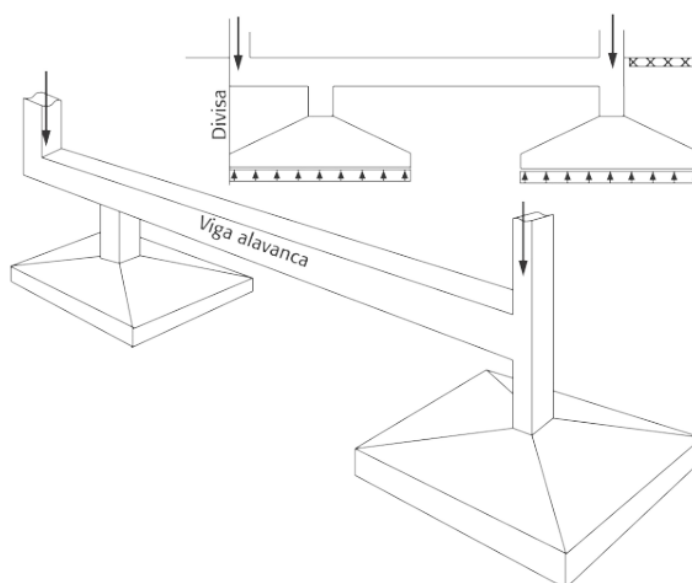
A armadura principal é calculada conforme a Equação 28, e disposta uniformemente na dimensão B_1 . A armadura e distribuição é paralela à dimensão B_1 , de acordo com a condição da Equação 65.

$$A_{s,distrib} \geq \begin{cases} \frac{1}{5} A_{s,1A} \\ 0,9 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \end{cases}, \text{ com } s \leq 33\text{cm} \quad (65)$$

2.4 Sapatas de divisa com viga de transição

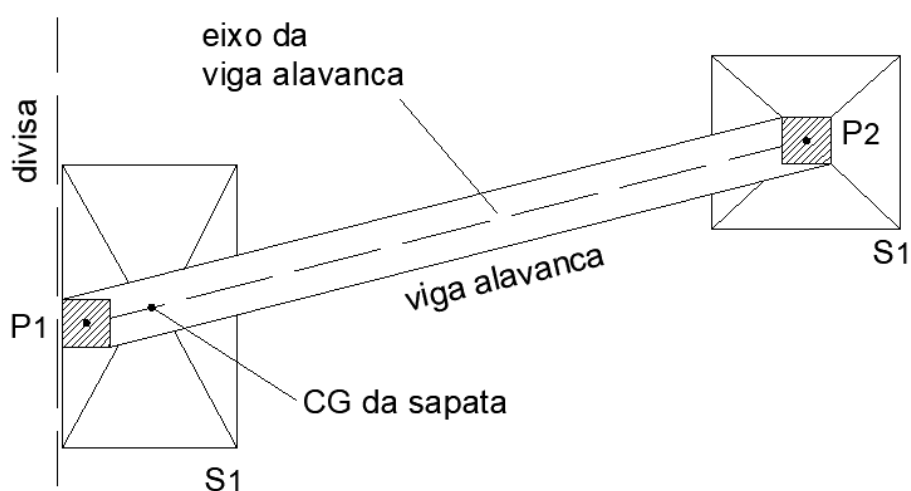
Outra opção para sapatas de divisa é a utilização de viga de transição (ou viga em balanço). De acordo com Rebello (2008), a carga excêntrica do pilar é transmitida através da viga de transição para uma sapata isolada, esta agora com carga centrada, e a viga comporta-se como uma viga em balanço, biapoiada (Figura 37). A carga do pilar de divisa está aplicada no balanço, isso cria um efeito de alavanca, o que tende a aliviar o apoio do lado oposto ao balanço. A posição do pilar que a viga se apoia pode ser qualquer, desde que a linha de eixo que liga os centros dos pilares precisa coincidir com o eixo da viga de transição, passando pelo centro de gravidade da sapata do lado da divisa, como mostrado na Figura 38.

Figura 37 - Sapata de divisa com viga de transição



Fonte: Campos (2015)

Figura 38 - Colinearidade dos centros de gravidade dos elementos

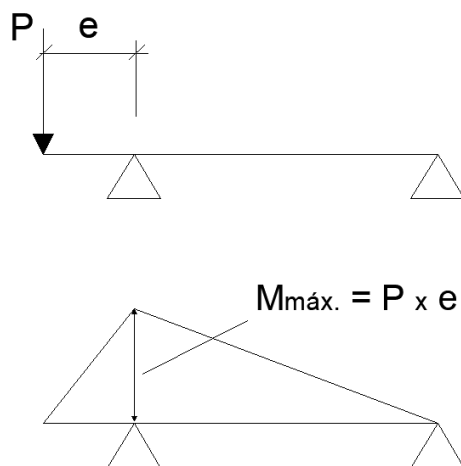


Fonte: Adaptado de Rebello (2008)

A carga transmitida pela viga à sapata é igual a carga do pilar, e a excentricidade depende das dimensões da sapata isolada sob a viga. Dimensiona-se a sapata como uma sapata isolada de carga centrada (Item 2.1.1.). A viga é dimensionada como uma viga em balanço biapoiada. A viga de transição sofre esforços de flexão, tais como momento fletor e força cortante. O esforço de momento

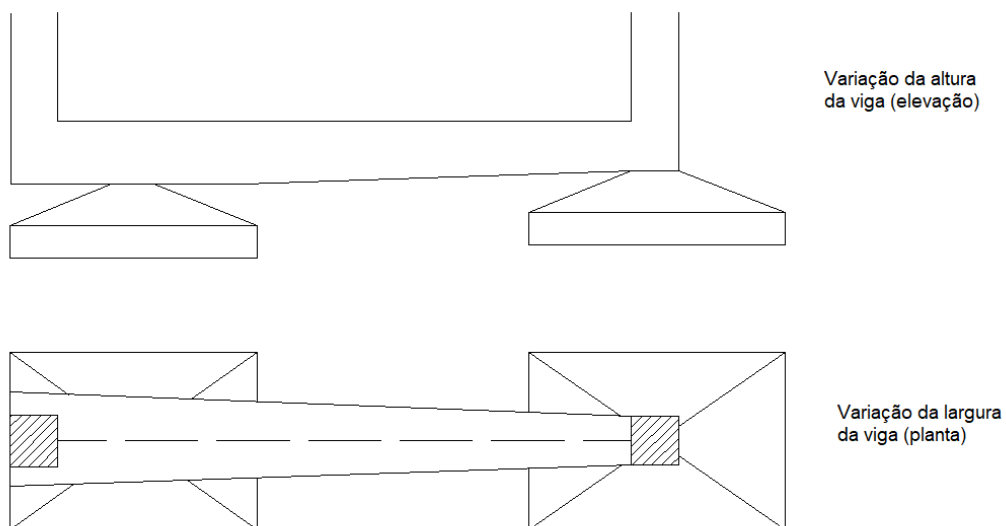
fletor no balanço da viga varia de zero (eixo do pilar) a máximo (centro de gravidade da primeira sapata), e volta a se anular na extremidade oposta (Figura 39). As dimensões da viga (Figura 40) devem variar de acordo com a variação da intensidade do momento fletor, afim de economizar concreto (REBELLO, 2008).

Figura 39 - Diagrama de momento fletor na viga de transição



Fonte: Adaptado de Rebello (2008)

Figura 40 - Variação da altura e largura da viga de transição



Fonte: Adaptado de Rebello (2008)

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consta na modelagem de uma edificação residencial no *software* TQS, de 2 pavimentos, com uma área construída de 106,74m², na qual o projeto arquitetônico e a planta de forma encontram-se nos Anexo A e B, respectivamente. Tal edificação servirá de base para o estudo e análise de sapatas em divisa. Nesta estrutura, foram elaboradas três soluções para as sapatas da divisa, na lateral direita da edificação: sapata excêntrica de divisa sem viga (SSV), sapata excêntrica de divisa com viga de equilíbrio/alavanca (SVA) e sapata de divisa com viga de transição (SVT). A divisa considerada para o estudo está representada na planta de forma no Anexo B.

3.1 Considerações iniciais

As seguintes propriedades foram adotadas para estrutura, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014):

- Classe de agressividade ambiental (CAA) II – Moderada (Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014);
- Classe de concreto C25 (Tabela 7.1 da ABNT NBR 6118:2014);
- Cobrimento nominal: $c = 25\text{mm}$ para as lajes, e $c = 30\text{mm}$ para vigas, pilares e sapatas (Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118:2014);
- Módulo de Elasticidade do concreto: $E_{ci} = 28\text{ GPa}$ e $E_{cs} = 24\text{ GPa}$ (Tabela 8.1 da ABNT NBR 6118:2014);
- Módulo de elasticidade do aço CA 50: $E_s = 210\text{ GPa}$ (Item 8.3.5 da ABNT NBR 6118:2014).

Foram considerados na estrutura os esforços atuantes devido às cargas permanentes e às cargas variáveis (acidentais). As cargas permanentes são aquelas devido ao peso próprio da estrutura e da alvenaria de vedação, de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2019), e as cargas variáveis são aquelas de utilização da edificação, assim como as ações do vento, conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988).

O modelo estrutural escolhido para o edifício no *software*, foi o modelo estrutural IV - Modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios. Neste modelo,

o edifício será modelado por um pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares serão calculados com o pórtico espacial (TQS INORMÁTICA LTDA, 2023, não paginado).

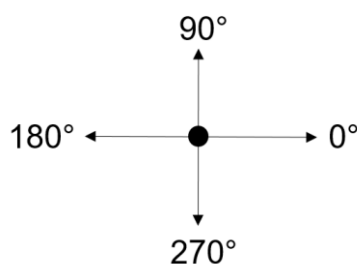
O método escolhido para a análise dos efeitos de segunda ordem globais foi o P-Delta, visto que a estrutura tem menos de quatro pavimentos, sendo assim o parâmetro G_{mZ} não tem precisão.

Para a consideração das ações do vento, a cidade escolhida foi Alegrete – RS, com as seguintes características, conforme a NBR 6123 (ANBT, 1988):

- V_0 – Velocidade básica: 45 m/s;
- S_1 – Fator do terreno: 1,00 (terreno plano ou fracamente acidentado);
- S_2 – Categoria de rugosidade: IV (Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados. Zona florestal, industrial, urbanizada, parques, subúrbios densos);
- Classe da edificação: A (Maior dimensão horizontal ou vertical < 20m);
- S_3 – Fator estatístico: 1,00 (Edificações em geral. Hotéis, residências, comércio e indústria com alta taxa de ocupação).

Na Figura 41 está representado o ângulo de incidência das ações do vento, considerado pelo *software*, e na Tabela 5 estão apresentados os valores do coeficiente de arrasto para cada ângulo de incidência, calculados automaticamente pelo *software*.

Figura 41 - Ângulo de incidência do vento



Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (2023)

Tabela 5 - Valores de coeficiente de arrasto

Ângulo de incidência (°)	Coeficiente de arrasto
90	1,13
270	1,13
0	1,14
180	1,14

Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (2023)

Após estas definições iniciais, foi feita a modelagem da edificação. Na aba “critérios” do *software*, o método selecionado para determinação do esforço cortante limite foi o do CEB. O método selecionado para o (pré-)dimensionamento das sapatas foi da NBR 6118:2003. Admitiu-se uma tensão admissível para o solo de 3 kgf/cm² (0,3 MPa), para os três casos de sapatas em divisa. O coeficiente atrito solo-concreto considerado foi de 0,3 para todas as sapatas.

Se for considerado um apoio rígido (engastado) para as sapatas, surgem solicitações de momentos fletores nas vigas (alavanca ou transição), devido à excentricidade do pilar e o centro de apoio da sapata, assim, todo este momento ficaria concentrado no apoio, e a sapata não teria função estrutural (TQS INFORMÁTICA, 20--). Com isso, adotou-se um vínculo semirrígido (coeficiente de mola) para a estrutura, para refletir em um comportamento estrutural mais realista. Para encontrar o coeficiente de mola, primeiramente, foi definido o módulo de elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson, relacionando a tensão admissível adotada com o solo correspondente, utilizando a Tabela 6. Assim, para a tensão admissível de 0,3 MPa, consiste em um solo do tipo argilas duras. Considerando este solo, foi obtido pela Tabela 1 o módulo de elasticidade de 15 MPa (150 kgf/cm²) e através da Tabela 2, o coeficiente de Poisson para argila não saturada adotando um valor de 0,21. Com isso, foi elaborada uma tabela no Excel para calcular o coeficiente de mola de cada uma das sapatas (de divisa e isoladas), para cada um dos três casos já citados. Na tabela foram inseridas as dimensões de cada sapata e com elas foi calculada a relação largura/base, para assim obter o fator de forma (I_s), este obtido na Tabela 3. Calculou-se também a área da base das sapatas e as inércias nos eixos x e y. Com todos esses dados, foi possível obter o valor do coeficiente de mola (k_v), conforme Equação 1 e através das Equações 2 e 3, obtém-se o valor de k_v de cada eixo, respectivamente, em kgf·cm/rad. No TQS, em “dados de fundação”, na aba “Pórtico”, foi selecionada a

vinculação elástica, para as molas de rotação nas direções x e y, e assim foram inseridos os valores dos coeficiente de mola para cada eixo, em tf·m/rad, conforme Figura 42.

Tabela 6 - Pressões básicas

Classe	Descrição	Valores (MPa)
1	Rocha sã, maciça, sem laminação ou sinal de decomposição	3,0
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas	1,5
3	Rochas alteradas ou em decomposição	ver norma
4	Solos granulares concrecionados - conglomerados	1,0
5	Solos pedregulhosos compactos	0,6
6	Solos pedregulhosos fofos	0,3
7	Areias muito compactas	0,5
8	Areias compactas	0,4
9	Areias medianamente compactas	0,2
10	Argilas duras	0,3
11	Argilas rijas	0,2
12	Argilas médias	0,1
13	Siltes duros (muito compactos)	0,3
14	Siltes rijos (compactos)	0,2
15	Siltes médios (medianamente compactos)	0,1

Fonte: Adaptado da NBR 6122 (ABNT, 1996)

Figura 42 - Inserção do coeficiente de mola

Dados de fundações

Identificação | Seção | Grelha/Pavimento | Pórtico | Detalhamento | BIM

Coefficientes de mola

	Padrão	Articulado	Elástico	Recalque			Gap+	Gap-
Mola rotação X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	tfm/rad		
Mola rotação Y	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	tfm/rad		
Mola rotação Z	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0		m	m
Mola translação X	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0		0	0
Mola translação Y	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0		0	0
Mola translação Z	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0		0	0

O pilar terá apoio elástico com coeficientes de mola definidos aqui. Os coeficientes de valor zero corresponderão a articulações.

OK Cancelar

Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA (2023)

Na janela do Modelador Estrutural (EAG), em dados de pilares, na aba “Modelo” (Figura 43), foi selecionado que o pilar nasce em “pilar/bloco/sapata/tubulão”.

Figura 43 - Janela de configuração “Dados de pilares”

Dados de pilares

Identificação | Seção | Modelo | Grelha/Pavimento | Pórtico | Detalhamento | Cargas | Plantas/Seções | BIM

O pilar nasce:

- Vinculado na fundação / solo
- Em viga
- Em pilar/bloco/sapata/tubulão
- Sobre laje

Trabalha em:

- Compressão
- Tração / compressão
- Compatibilização
- Só tração (tirante)
- Só compressão (escora)

Recebe vento:

- Não
- Sim

Direção:

- Vertical
- Inclinado

Pilar parede - inércia à torção laminar:

- Não calcular
- Aproximada ou discretização

Não linearidade física:

- Pilar
- Parede não fissurada
- Parede fissurada

Verificar interferências:

- Não
- Sim

OK Cancelar

Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA (2023)

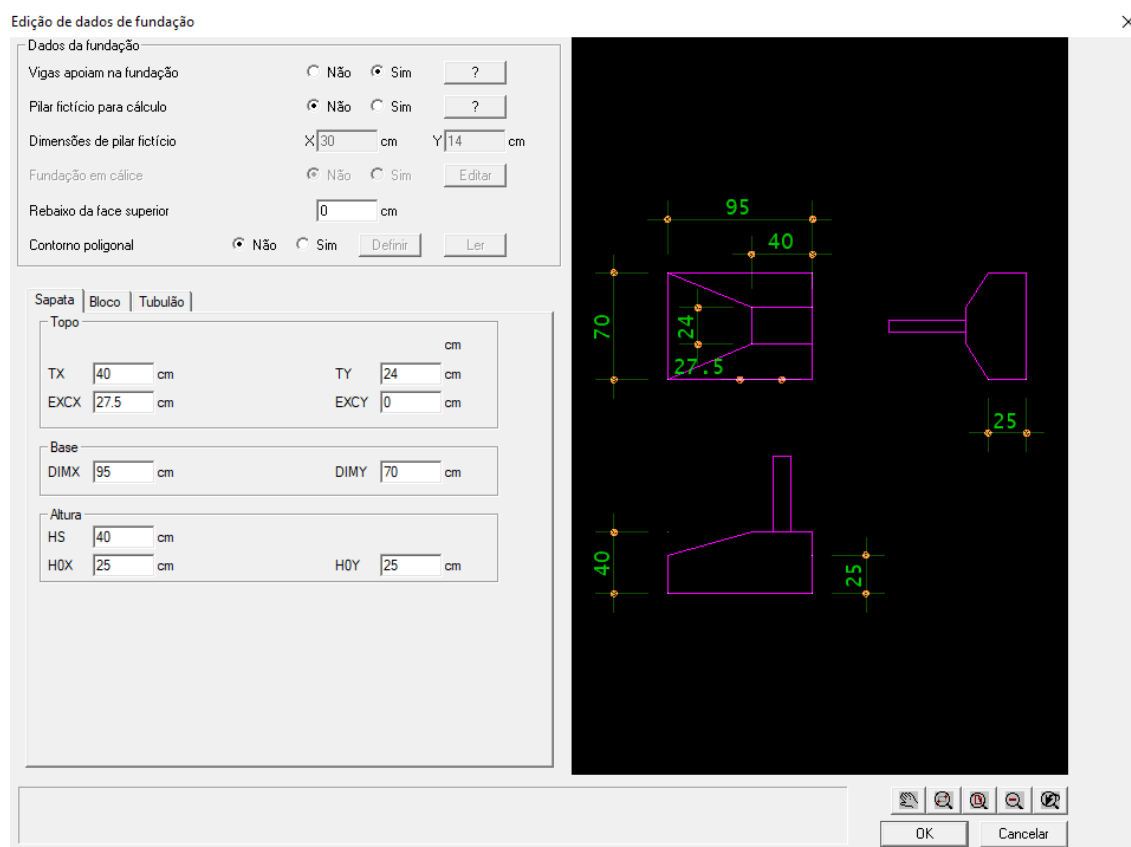
3.2 Modelagem das sapatas de divisa

Nesta seção serão apresentadas as modelagens no *software* das três soluções de sapatas em divisa.

3.2.1 Sapata excêntrica de divisa (sem viga) - SSV

Foi selecionado no software o pré-dimensionamento de todas fundações, e para realizar a otimização do dimensionamento das sapatas de divisa (S2, S5, S8 e S11), estas tiveram suas dimensões refinadas de modo que todos os critérios verificados pelo TQS fossem atendidos. Assim, foram definidas as dimensões A e B, a excentricidade e a altura da sapata, como está mostrado na Figura 44, sempre conferindo para atender a condição de sapata rígida (Equação 4) da NBR 6122 (2019).

Figura 44 - Edição de dados de fundação (SSV)



Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA (2023)

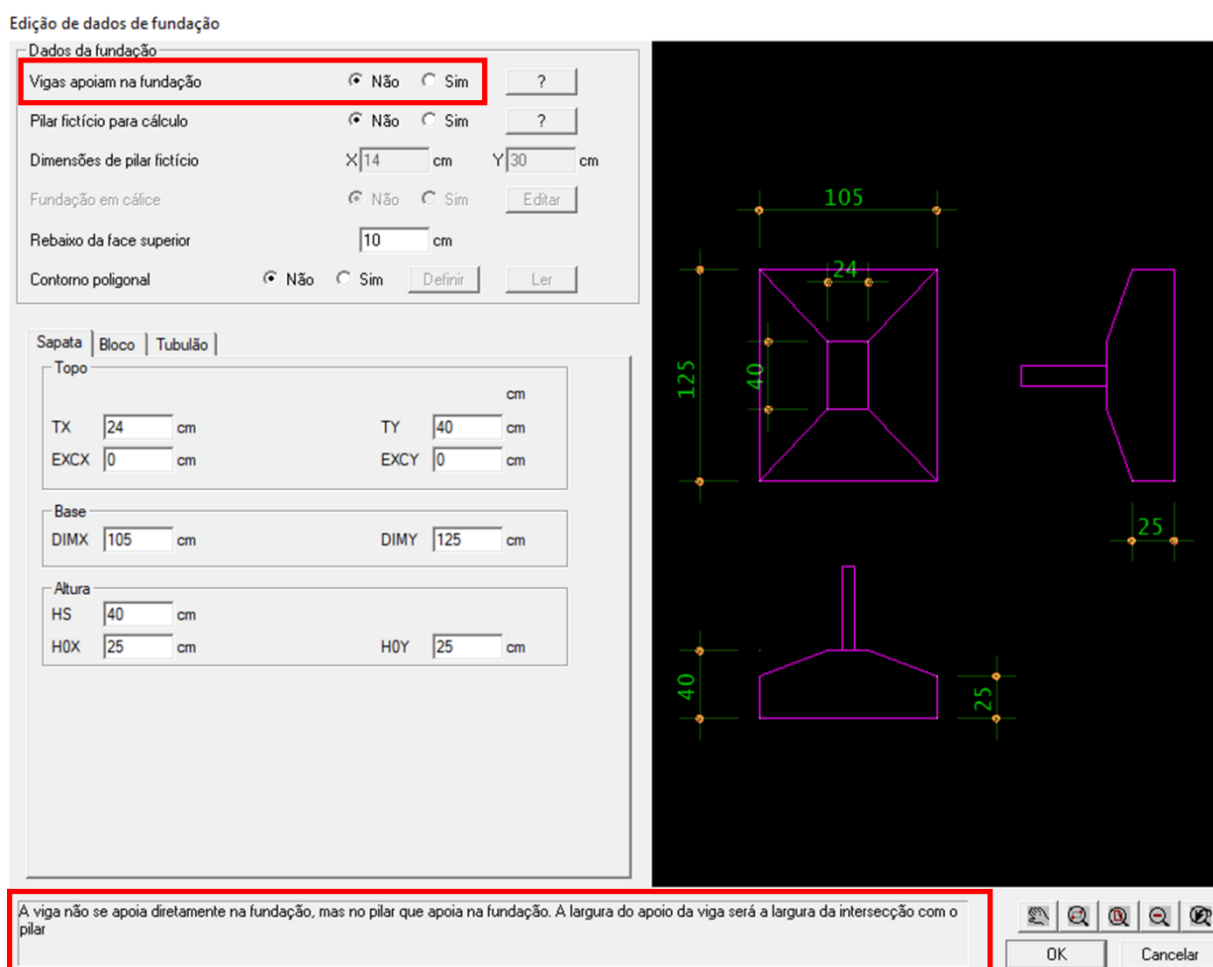
Quanto a verificação das bielas de compressão, foi marcado a opção de verificar sem armaduras, conforme o item 21.2.1 da NBR 6118 (2014).

3.2.2 Sapata excêntrica de divisa com viga alavanca - SVA

Igualmente ao item 3.2.1, com as sapatas de divisa ainda excêntricas, porém foi inserida uma viga alavanca entre cada sapata de divisa, ligando esta com a sapata mais próxima a ela, sendo S1-S2, S4-S5, S7-S8, S10-S11.

Para este tipo de sapata de divisa foi selecionada a opção de as vigas não se apoiarem à fundação, mas sim no pilar que apoia na fundação, como está mostrado na Figura 45, pois de acordo com *software*, é necessário informá-lo se a viga se apoiará no pilar que chega na fundação ou diretamente sobre o topo da fundação, e esta escolha influenciará principalmente no comprimento de apoio desta viga sobre a fundação.

Figura 45 - Escolha do tipo de vinculação viga-fundação



Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA (2023)

3.2.3 Sapata de divisa com viga de transição - SVT

Para esta situação, agora com as sapatas de divisa isoladas, como apresentadas na Figura 37 e Figura 40, com carga centrada, a própria viga baldrame foi usada como uma viga de transição.

3.3 Verificações do TQS

O *software* realiza algumas verificações de forma ligeiramente diferentes daquelas apresentadas no Item 2.

3.3.1 Verificação quanto ao tombamento

O programa realiza a verificação ao tombamento de acordo com a Equação 66, sendo $Tomb > CS_{Mínimo}$.

$$Tomb = \frac{Nsk \cdot \left(\frac{Dsap}{2} - exc \right) + PPsk \cdot \left(\frac{Dsap}{2} \right)}{Msk - Hsk \cdot Hsap} \quad (66)$$

Onde:

$CS_{Mínimo}$ = coeficiente de segurança mínimo;

$Tomb$ = coeficiente de tombamento atuante;

Nsk = Normal característica atuante no topo da sapata;

Msk = Momento fletor característico atuante no topo da sapata;

Hsk = Esforço horizontal característico atuante no topo da sapata;

$PPsk$ = Peso próprio característico da sapata;

$Dsap$ = Dimensão da base da sapata na direção considerada;

$Hsap$ = Altura da sapata;

Exc = Excentricidade do ponto de aplicação de Nsk em relação ao ponto central da base da sapata.

Esta verificação foi comparada às verificações de acordo com Campos (2015) e Bastos (2019), citadas no item 2.1, para a sapata excêntrica de divisa (sem viga).

3.3.2 Verificação quanto ao deslizamento

Sendo o coeficiente de atrito solo-concreto adotado como 0,3 no *software*, este utiliza a Equação 67 para a verificação ao deslizamento.

$$Desliz = \frac{(Nsk + PPsk) \cdot \mu}{Hsk} \quad (67)$$

Onde:

Desliz = coeficiente de deslizamento atuante;

Nsk = Normal característica atuante no topo da sapata;

Hsk = Esforço horizontal característico atuante no topo da sapata;

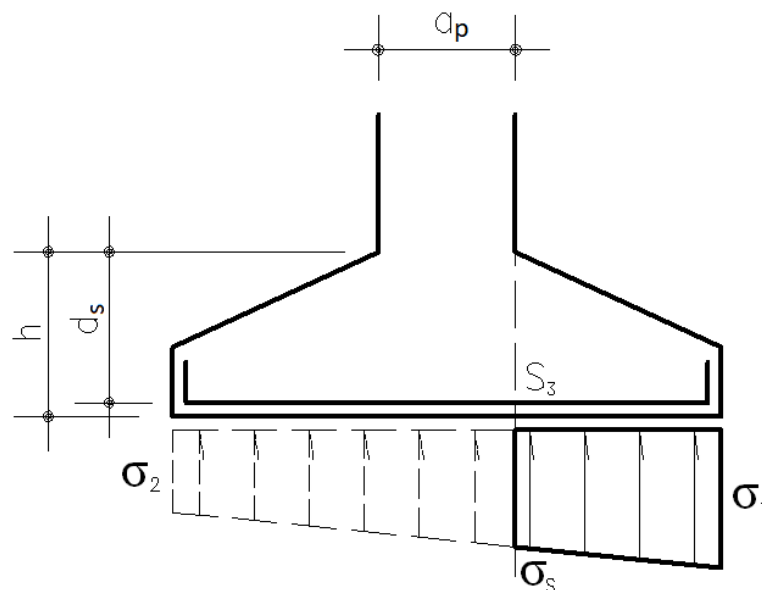
PPsk = Peso próprio característico da sapata;

μ = Coeficiente de atrito solo-concreto.

3.3.3 Verificação da diagonal comprimida

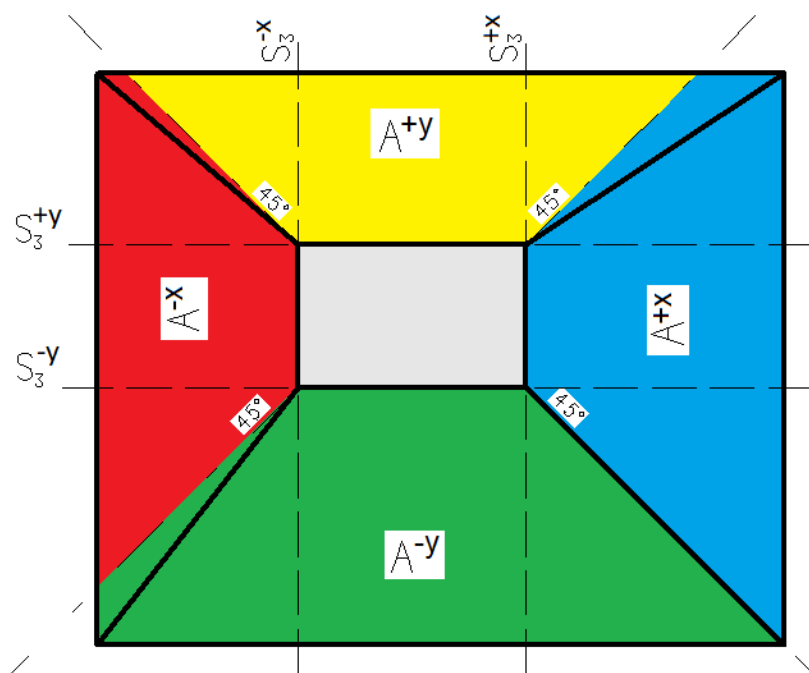
Ao invés do *software* utilizar o perímetro de contorno crítico C, ele realiza quatro verificações, sendo uma para cada lateral do retângulo que envolve o pilar. O esforço para o cálculo da tensão cisalhante é realizado na seção de referência S₃, em cada direção da sapata, perpendicular à base da sapata e alinhado à face do retângulo envolvente (Figura 46). Neste cálculo é considerado o diagrama de tensões no solo, entre a seção S₃ e a extremidade da sapata (Figura 46). Para o cálculo dos esforços cortantes, tem-se quatro seções possíveis: +X, -X, +Y e -Y, e é feita uma integração numérica dos valores de tensão do solo pela área de cálculo, para assim obter o valor do esforço para o cálculo da tensão cisalhante em cada seção. As seções e as áreas de cálculo estão apresentadas na Figura 47. Para calcular a tensão cisalhamento, é utilizada a Equação 14, porém agora u₀ corresponde à ao perímetro crítico em análise. (TQS INFORMÁTICA LTDA, 20--).

Figura 46 - Seção de referência S_3 e diagrama de tensões no solo



Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (20--)

Figura 47 - Seções para cálculo de esforço cortante e áreas de cálculo



Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (20--)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção estão apresentados os resultados gerados pelo software TQS, para cada uma das três alternativas de sapatas em divisa.

4.1 Sapata excêntrica de divisa (sem viga) - SSV

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes a sapata excêntrica de divisa.

4.1.1 Coeficiente de Mola (SSV)

As características geométricas de todas as sapatas e os parâmetros do solo encontram-se na Tabela 7, e os valores de k_v , k_{vx} e k_{vy} estão mostrados na Tabela 8, onde as sapatas S2, S5, S8 e S11 são as sapatas de divisa.

Tabela 7 - Características geométricas das sapatas e parâmetros do solo (SSV)

Sapata	Lx cm	Ly cm	L/B	I	A cm ²	Ix cm ⁴	Iy cm ⁴	E Kgf/cm ²	v
S1	90	75	1,20	0,91	6750	3,16E+06	4,56E+06	150	0,21
S2	200	200	1,00	0,84	40000	1,33E+08	1,33E+08	150	0,21
S3	60	80	1,33	0,96	4800	2,56E+06	1,44E+06	150	0,21
S4	110	125	1,14	0,89	13750	1,79E+07	1,39E+07	150	0,21
S5	240	220	1,09	0,87	52800	2,13E+08	2,53E+08	150	0,21
S6	100	85	1,18	0,90	8500	5,12E+06	7,08E+06	150	0,21
S7	105	120	1,14	0,89	12600	1,51E+07	1,16E+07	150	0,21
S8	240	220	1,09	0,87	52800	2,13E+08	2,53E+08	150	0,21
S9	70	85	1,21	0,92	5950	3,58E+06	2,43E+06	150	0,21
S10	95	80	1,19	0,91	7600	4,05E+06	5,72E+06	150	0,21
S11	200	200	1,00	0,84	40000	1,33E+08	1,33E+08	150	0,21

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Valores de coeficiente de mola (SSV)

Sapata	kv	k _{rx}	k _{ry}	k _{rx}	k _{ry}
	Kgf/cm ³	kgf·cm/rad	kgf·cm/rad	tf·m/rad	tf·m/rad
S1	2,29	7,25E+06	1,04E+07	73	104
S2	0,94	1,25E+08	1,25E+08	1250	1250
S3	2,71	6,95E+06	3,91E+06	70	39
S4	1,61	2,87E+07	2,23E+07	287	223
S5	0,82	1,74E+08	2,07E+08	1744	2075
S6	2,04	1,05E+07	1,45E+07	105	145
S7	1,68	2,54E+07	1,94E+07	254	194
S8	0,82	1,74E+08	2,07E+08	1744	2075
S9	2,44	8,75E+06	5,93E+06	87	59
S10	2,16	8,76E+06	1,23E+07	88	123
S11	0,94	1,25E+08	1,25E+08	1250	1250

Fonte: Elaboração própria

4.1.2 Geometria das sapatas e pilares (SSV)

Na Tabela 9 estão representadas as dimensões das sapatas de divisa, assim como as dimensões de seus respectivos pilares. Estão apresentadas as plantas baixa da fundação, planta baixa do pavimento térreo e uma perspectiva 3D da edificação, na Figura 48, Figura 52 e

Figura 50, respectivamente.

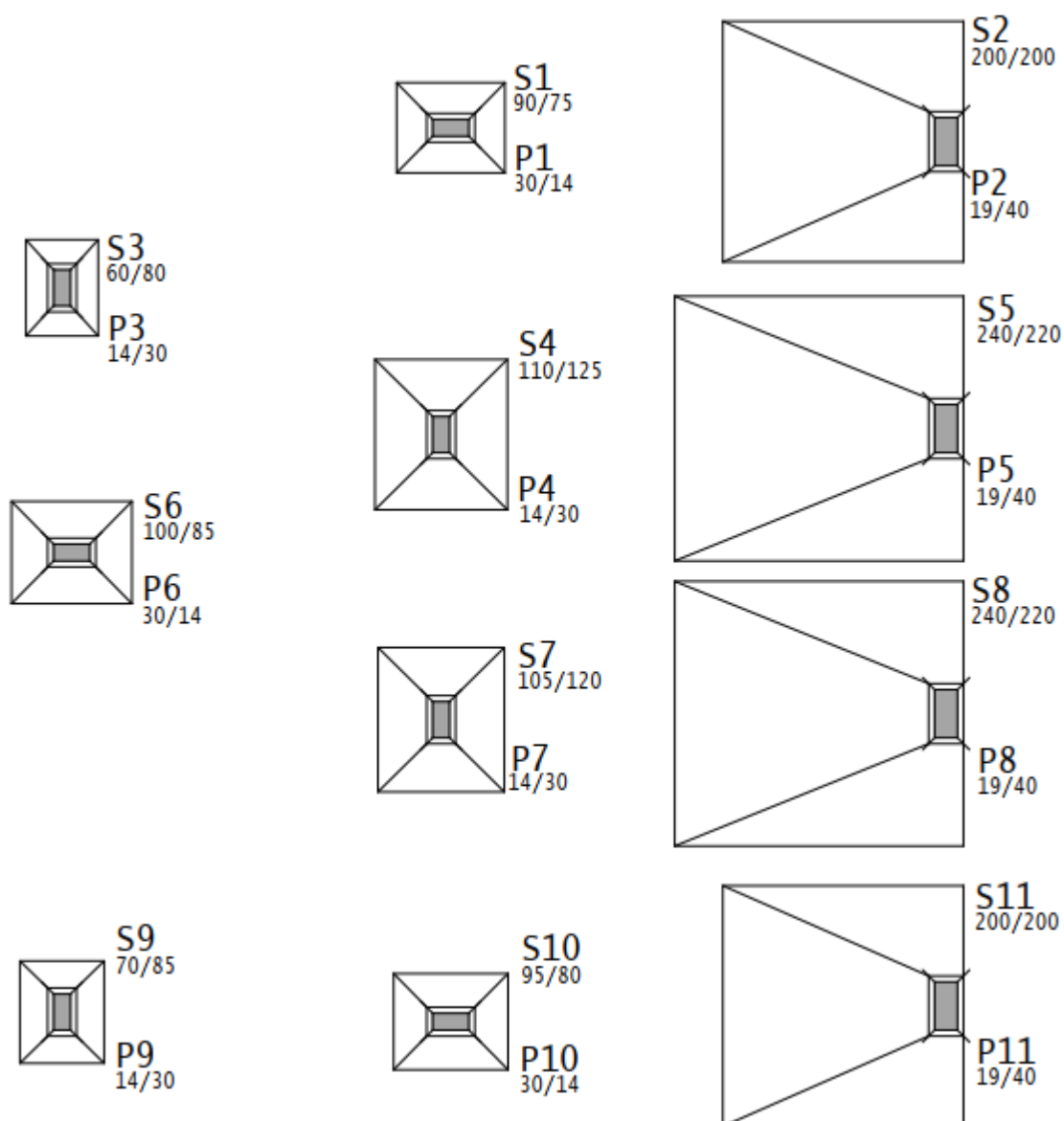
Tabela 9 - Geometria das sapatas e pilares (SSV)

Geometria	Sapatas			
	S2	S5	S8	S11
Dimensão em X (cm)	200	240	240	200
Dimensão em Y (cm)	200	220	220	200
Rodapé em X (cm)	50	70	70	50
Rodapé em Y (cm)	50	70	70	50
Altura (cm)	100	120	120	100
Peso (t)	7,04	11,86	11,86	7,04
Volume (m ³)	2,82	4,75	4,75	2,82
Área de fôrma (m ²)	4,00	6,44	6,44	4,00

Geometria	Pilares			
	P2	P5	P8	P11
Dimensão em X (cm)	19	19	19	19
Dimensão em Y (cm)	40	40	40	40
Colarinho em X (cm)	5	5	5	5
Colarinho em Y (cm)	5	5	5	5
Excentricidade em X (cm)	85,5	105,5	105,5	85,5
Excentricidade em Y (cm)	0	0	0	0

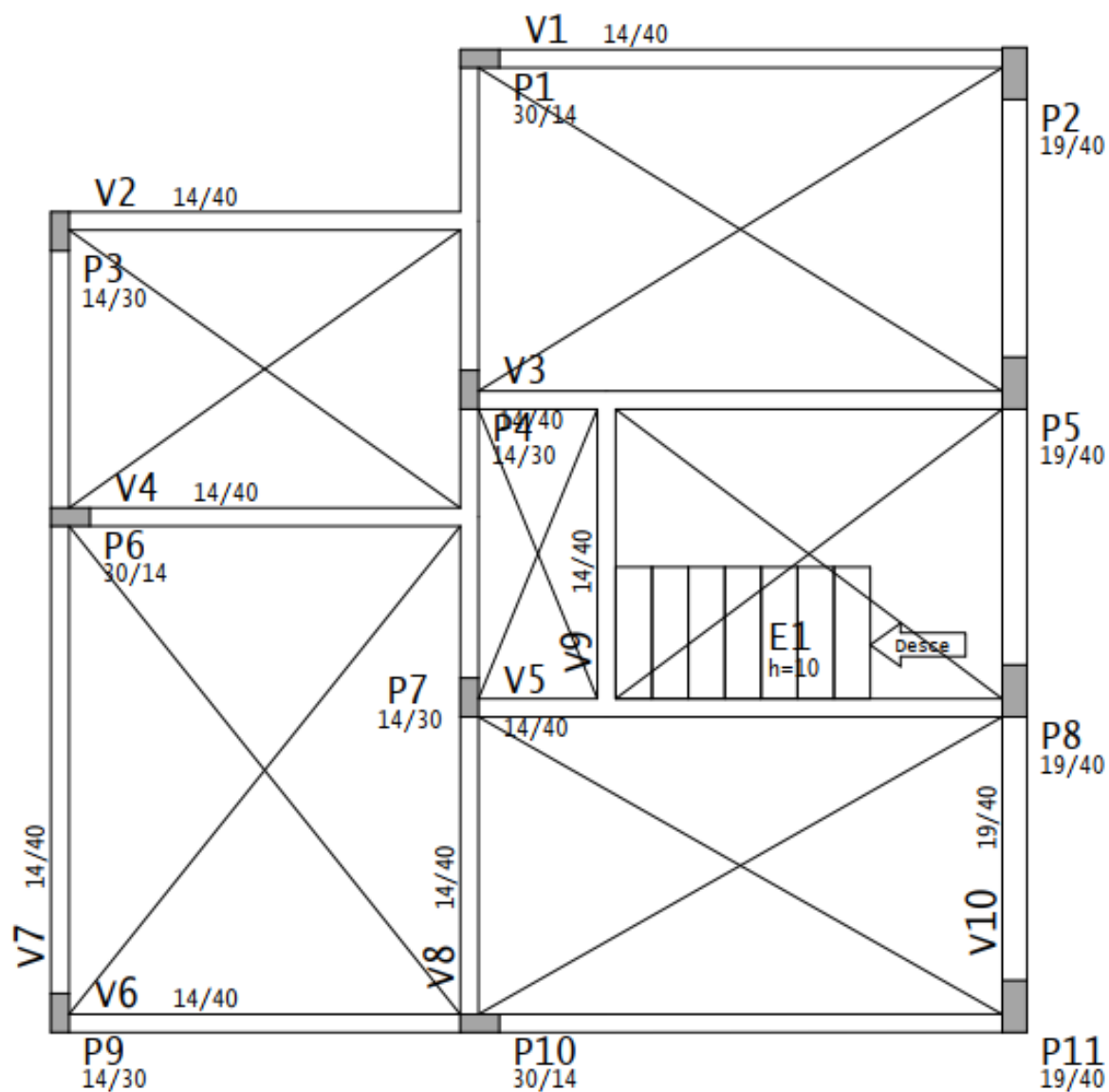
Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Figura 48 - Planta baixa da fundação - SSV



Fonte: Elaboração própria

Figura 49 - Planta baixa do pavimento térreo - SSV



Fonte: Elaboração própria

Figura 50 - Perspectiva 3D – SSV



Fonte: Elaboração própria

Este projeto resultou em dimensões significativas de sapatas de divisa (tanto na base quanto na altura), isto pelo fato de ser necessário atender a tensão admissível do solo, e também pelo *software* apresentar erros quanto as verificações da diagonal comprimida, ao fendilhamento e ao tombamento. Apesar de resolver as duas últimas aumentando as dimensões das sapatas, a verificação quanto ao tombamento ainda não foi atendida na maioria das combinações, como é explicado no item 4.1.3.

4.1.3 Esforços atuantes, dimensionamento e detalhamento (SSV)

Como foi adotada uma tensão admissível de 3 kgf/cm^2 , e um coeficiente de majoração de tensão resistente do solo para flexocompressão de 1,3, o limite de tensão no solo é de $3,90 \text{ kgf/cm}^2$, sendo todas as tensões atuantes (considerando o peso próprio da sapata) dentro deste limite, com grande margem de segurança,

devido às grandes dimensões das sapatas. Estes valores estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Tensões no solo (SSV)

Sapata	Solicitação	Tensão (kgf/cm ²)		Situação
		Atuante	Limite	
S2	Máxima	0,84	3,90	OK
	Média	0,45	3,90	OK
S5	Máxima	0,95	3,90	OK
	Média	0,49	3,90	OK
S8	Máxima	0,96	3,90	OK
	Média	0,49	3,90	OK
S11	Máxima	0,82	3,90	OK
	Média	0,45	3,90	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Considerando a combinação 40² do *software*, com o coeficiente ponderador de esforços (γ_f) de 1,4 e o coeficiente ponderador adicional de esforços (γ_n) de 1,2, assim obtendo os esforços de cálculo atuantes no topo da sapata (ou na base do pilar) por $S_{sd} = S_k \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$. Na Tabela 11 encontram-se estes esforços de cálculos atuantes nas quatro sapatas de divisa, assim como o dimensionamento e detalhamento de cada, nas Tabela 12 e Tabela 13, respectivamente.

Tabela 11 - Esforços atuantes (SSV)

Sapata	F _{Zsd} (tf)	F _{Xsd} (tf)	F _{Ysd} (tf)	M _{Zsd} (tf·m)	M _{Xsd} (tf·m)	M _{Ysd} (tf·m)
S2	18,08	-2,76	0,81	-0,69	10,74	0,07
S5	23,28	-2,97	0,66	-0,69	19,34	0,07
S8	23,70	-3,24	-0,66	0,69	19,67	-0,15
S11	18,28	-3,31	-0,99	0,84	10,47	-0,17

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 12 - Dimensionamento (SSV)

Sapata	Sentido	Momentos (tf·m)		Armaduras (cm ²)				
		M _{sd}	M _{min}	A _{scal}	A _{scal,corr}	A _{smin,p}	A _{smin,crit}	A _{sne}
S2	X	161,14	69,47	43,00	43,00	24,38	1,50	43,00
	Y	37,24	47,01	14,90	14,90	23,59	1,50	43,00
S5	X	265,45	111,37	58,60	58,60	33,23	1,50	58,60
	Y	55,7	97,61	24,70	24,70	35,29	1,50	35,29
S8	X	265,45	111,37	58,60	58,60	33,23	1,50	58,60
	Y	55,70	97,61	24,70	24,70	35,29	1,50	35,29
S11	X	161,14	69,47	43,00	43,00	24,38	1,50	43,00
	Y	37,24	47,01	14,90	14,90	23,59	1,50	43,00

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 13 - Detalhamento (SSV)

Sapata	Sentido	Armaduras				
		A _{sdet} (cm ²)	A _{sdet/s} (cm ² /m)	N _Φ	Φ (mm)	c/ (cm)
S2	X	43,00	21,90	15	20	13
	Y	43,00	21,90	15	20	13
S5	X	58,60	27,09	20	20	11
	Y	35,29	14,70	19	16	13
S8	X	58,60	27,09	20	20	11
	Y	35,29	14,70	19	16	13
S11	X	43,00	21,90	15	20	13
	Y	43,00	21,90	15	20	13

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Como as sapatas S5 e S8 estão sob os pilares que recebem a carga do reservatório, estas recebem maiores cargas verticais (F_z), e conseqüentemente maiores momentos, dimensões e área de aço. O detalhamento das sapatas de divisa e das sapatas centrais encontram-se nos Apêndices A.1 e A.2, respectivamente.

4.1.4 Verificações (SSV)

Para a verificação de escorregamento da armadura, o software utiliza a verificação do item 9.3.2.3 da ABNT NBR 6118:2014. Quando a armadura tem diâmetro igual ou superior a 20mm, deve ser verificada a aderência desta com o concreto para evitar o escorregamento. Na Tabela 14 está apresentado os valores do *software*, onde f_{bd} é a resistência de aderência de cálculo, N o número de armaduras na seção analisada. A verificação foi atendida para todas as sapatas de divisa.

Tabela 14 - Verificação do detalhamento – escorregamento da armadura (SSV)

Sapata	Sentido	Dados					Força (tf)		Aviso
		f _{bd} (MPa)	f _{bd,escor} (MPa)	N	Φ (mm)	d (cm)	Atuante	Limite	
S2	X	2	4	15	20	97	179,64	281,15	OK
	Y	2	4	15	20	95	85,83	275,35	OK
S5	X	2	4	20	20	117	242,40	452,15	OK
	Y	2	4	19	16	115	115,93	337,76	OK
S8	X	2	4	20	20	117	242,40	452,15	OK
	Y	2	4	19	16	115	115,93	337,76	OK
S11	X	2	4	15	20	97	179,64	281,15	OK
	Y	2	4	15	20	95	85,83	275,35	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 15 encontra-se o resultado da verificação ao tombamento, realizada com a combinação 40 do software, sendo esta verificação atendida em todas as sapatas.

Tabela 15 - Verificação ao tombamento – Combinação 40 - (SSV)

Sapata	Sentido	Nsk	Dsap	exc	PPsk	Msk	Hsk	Hs ap	C. Tomb.		Aviso
									At.	Mín.	
S2	X	10,76	200	85,5	7,04	6,39	-1,64	100	1,81	1,5	OK
	Y	10,76	200	0	7,04	0,04	0,48	100	34,24	1,5	OK
S5	X	13,86	240	105,5	11,86	11,51	-1,77	120	1,73	1,5	OK
	Y	13,86	240	0	11,86	0,04	0,39	120	55,7	1,5	OK
S8	X	14,11	240	105,5	11,86	11,71	-1,93	120	1,73	1,5	OK
	Y	14,11	220	0	11,86	-0,09	-0,39	120	51,21	1,5	OK
S11	X	10,88	200	85,5	7,04	6,23	-1,97	100	2,02	1,5	OK
	Y	10,88	200	0	7,04	-0,1	-0,59	100	25,98	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Como observa-se na Tabela 16, não foi atendido o critério da verificação ao tombamento na maioria das combinações realizada pelo TQS, para todas as sapatas de divisa. Assim, foi realizado o cálculo manual da verificação do tombamento pelas equações de Bastos (2019) e Campos (2015), como mostrado no item 2.1.1.4, e estes resultados foram comparados com os resultados do *software*. Com isso, considerou-se a combinação mais crítica em relação ao tombamento, resultando na obtenção de esforços da combinação 39³. Na Tabela 17 estão apresentados os valores do software para esta combinação. Na Tabela 18 encontram-se os esforços gerados (combinação

³ ELU1/ACIDCOMB/PP_V +PERM_V +0.5ACID_V +VENT3 (vento a 0°).

39) e na Tabela 19 e Tabela 20, os valores do coeficiente de tombamento conforme Bastos e Campos, respectivamente.

Tabela 16 - Verificação ao tombamento para todas as combinações do TQS - (SSV)

Combinação	S2	S5	S7	S11
	(1,5/Tomb)	(1,5/Tomb)	(1,5/Tomb)	(1,5/Tomb)
13: PP+PERM	1,1	1,03	1,01	0,98
14: PP+PERM+ACID	1,19	1,12	1,11	1,06
15: PP+PERM+ACID+0.6VENT1	1,24	1,12	1,07	0,97
16: PP+PERM+ACID+0.6VENT2	1,09	1,08	1,11	1,09
17: PP+PERM+ACID+0.6VENT3	1,33	1,21	1,2	1,17
18: PP+PERM+ACID+0.6VENT4	0,99	0,99	0,99	0,88
19: PP+PERM+0.5ACID+VENT1	1,24	1,09	1,01	0,89
20: PP+PERM+0.5ACID+VENT2	1	1,02	1,08	1,09
21: PP+PERM+0.5ACID+VENT3	1,4	1,24	1,22	1,24
22: PP+PERM+0.5ACID+VENT4	0,83	0,87	0,87	0,74
31: PP V+PERM V	1,1	1,03	1,01	0,98
32: PP V+PERM V+ACID V	1,19	1,12	1,11	1,06
33: PP V+PERM V+ACID V+0.6VENT1	1,23	1,12	1,08	0,97
34: PP V+PERM V+ACID V+0.6VENT2	1,09	1,08	1,11	1,09
35: PP V+PERM V+ACID V+0.6VENT3	1,34	1,21	1,2	1,18
36: PP V+PERM V+ACID V+0.6VENT4	0,99	0,99	0,99	0,88
37: PP V+PERM V+0.5ACID V+VENT1	1,24	1,09	1,02	0,89
38: PP V+PERM V+0.5ACID V+VENT2	1	1,02	1,07	1,09
39: PP V+PERM V+0.5ACID V+VENT3	1,4	1,24	1,22	1,24
40: PP V+PERM V+0.5ACID V+VENT4	0,83	0,87	0,87	0,74

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 17 - Verificação ao tombamento – Combinação 39 - (SSV)

Sapata	Sentido	Nsk	Dsap	exc	PPsk	Msk	Hsk	Hsap	C. Tomb.		Aviso
									At.	Mín.	
S2	X	12,28	200	85,5	7,04	8,75	-0,47	100	1,07	1,5	NÃO OK
	Y	12,28	200	0	7,04	0,03	0,399	100	46,01	1,5	OK
S5	X	15,36	240	105,5	11,86	14,36	-0,61	120	1,21	1,5	NÃO OK
	Y	15,36	220	0	11,86	0,02	0,34	120	69,97	1,5	OK
S8	X	15,61	240	105,5	11,86	14,48	-0,85	120	1,23	1,5	NÃO OK
	Y	15,61	220	0	11,86	-0,09	-0,38	120	55,35	1,5	OK
S11	X	12,33	200	85,5	7,04	8,37	-1,06	100	1,21	1,5	NÃO OK
	Y	12,33	200	0	7,04	-0,10	-0,56	100	29,36	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 18 – Esforços das sapatas na combinação 39 (SSV)

Esforços	S2	S5	S8	S11
Nk (tf)	12,28	15,36	15,61	12,33
Mkx (tf·m)	8,75	14,36	14,48	8,37
Mky (tf·m)	0,03	0,02	0,09	0,10
F _{Hx} (tf)	0,47	0,61	0,85	1,06
F _{Hy} (tf)	0,39	0,34	0,38	0,56

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19 - Verificação ao tombamento conforme Bastos (2019) (SSV)

Sapata	e _A (cm)	e _B (cm)	(e _A /A) ²	(e _B /B) ²	(e _A /A) ² + (e _B /B) ²	Situação
S2	67,86	0,23	0,12	0,00	0,115	NÃO OK
S5	89,04	0,12	0,14	0,00	0,138	NÃO OK
S8	88,34	0,55	0,14	0,00	0,136	NÃO OK
S11	64,65	0,77	0,10	0,00	0,105	OK

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20 - Verificação ao tombamento conforme Campos (2015) (SSV)

Sapata	Sentido	M _{res.} (tf·m)	M _{tomb.} (tf·m)	γ _{f,t,at}	γ _{f,t,min}	Situação
S2	X	12,28	9,22	1,33	1,5	NÃO OK
	Y	12,28	0,42	29,24	1,5	OK
S5	X	18,43	15,09	1,22	1,5	NÃO OK
	Y	69,97	0,43	39,48	1,5	OK
S8	X	18,73	15,50	1,21	1,5	NÃO OK
	Y	17,17	0,55	31,45	1,5	OK
S11	X	12,33	9,43	1,31	1,5	NÃO OK
	Y	12,33	0,66	18,68	1,5	OK

Fonte: Elaboração própria

Considerando a combinação 39, observa-se a mesma verificação ao tombamento de acordo com o TQS (Tabela 17) e Campos (Tabela 20), resultando em tombamento no eixo X, com os valores de coeficientes para este eixo muito próximos.

A verificação ao deslizamento está apresentada na Tabela 21, onde foi atendida para todas as sapatas.

Tabela 21 - Verificação ao deslizamento (SSV)

Sapata	Sentido	Nsk	PPsk	μ	Hsk	C. Desliz.		Aviso
						At.	Mín.	
S2	X	10,76	7,04	0,3	-1,64	3,26	1,5	OK
	Y	10,76	7,04	0,3	0,48	11,13	1,5	OK
S5	X	13,86	11,86	0,3	-1,77	4,36	1,5	OK
	Y	13,86	11,86	0,3	0,39	19,79	1,5	OK
S8	X	14,11	11,86	0,3	-1,93	4,04	1,5	OK
	Y	14,11	11,86	0,3	-0,39	19,98	1,5	OK
S11	X	10,88	7,04	0,3	-1,97	2,73	1,5	OK
	Y	10,88	7,04	0,3	-0,59	9,11	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 22 está apresentada a verificação da compressão diagonal feita pelo *software*.

Tabela 22 - Verificação à compressão diagonal (SSV)

Sapata	Sentido	Seção (cm)		Tensão (kgf/cm ²)		Situação
		ds	bs	Atuante	Limite	
S2	X+	96	40	0,36	43,39	OK
	X-	96	40	37,82	43,39	OK
	Y+	96	19	14,05	43,39	OK
	Y-	96	19	14,05	43,39	OK
S5	X+	116	40	0,22	43,39	OK
	X-	116	40	42,80	43,39	OK
	Y+	116	19	14,18	43,39	OK
	Y-	116	19	14,18	43,39	OK
S8	X+	116	40	0,22	43,39	OK
	X-	116	40	42,80	43,39	OK
	Y+	116	19	14,80	43,39	OK
	Y-	116	19	14,80	43,39	OK
S11	X+	96	40	0,36	43,39	OK
	X-	96	40	37,82	43,39	OK
	Y+	96	19	14,05	43,39	OK
	Y-	96	19	14,05	43,39	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

A verificação ao esforço cortante está apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 - Verificação ao esforço cortante (SSV)

Sapata	Sentido	Seção (cm)		Força (tf)		Situação
		ds	bs	Atuante	Limite	
S2	X+	0	200	0,00	0,00	OK
	X-	82,4	136	124,37	134,08	OK
	Y+	48	72	14,07	41,37	OK
	Y-	48	72	14,07	41,37	OK
S5	X+	0	220	0,0	0,0	OK
	X-	102,6	156	169,04	191,54	OK
	Y+	48	82	16,12	47,12	OK
	Y-	48	82	16,12	47,12	OK
S8	X+	0	220	0,00	0,00	OK
	X-	102,6	156	169,04	191,54	OK
	Y+	48	82	16,12	47,12	OK
	Y-	48	82	16,12	47,12	OK
S11	X+	0	200	0,00	0,00	OK
	X-	82,4	136	124,37	134,08	OK
	Y+	48	72	14,07	41,37	OK
	Y-	48	72	14,07	41,37	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

4.2 Sapata excêntrica de divisa com viga alavanca - SVA

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes a sapata excêntrica de divisa com viga alavanca.

4.2.1 Coeficiente de Mola (SVA)

As características geométricas de todas as sapatas e os parâmetros do solo encontram-se na Tabela 24 e os valores de k_v , k_{vx} e k_{vy} estão mostrados na Tabela 25, onde as sapatas S2, S5, S8 e S11 são as sapatas de divisa.

Tabela 24 - Características geométricas das sapatas e parâmetros do solo (SVA)

Sapata	Lx cm	Ly cm	L/B	I	A cm ²	Ix cm ⁴	Iy cm ⁴	E Kgf/cm ²	ν
S1	95	70	1,36	0,97	6650	2,72E+06	5,00E+06	150	0,21
S2	95	70	1,36	0,97	6650	2,72E+06	5,00E+06	150	0,21
S3	60	80	1,33	0,96	4800	2,56E+06	1,44E+06	150	0,21
S4	110	130	1,18	0,91	14300	2,01E+07	1,44E+07	150	0,21
S5	130	90	1,44	1,01	11700	7,90E+06	1,65E+07	150	0,21
S6	105	85	1,24	0,93	8925	5,37E+06	8,20E+06	150	0,21
S7	105	125	1,19	0,91	13125	1,71E+07	1,21E+07	150	0,21
S8	130	90	1,44	1,01	11700	7,90E+06	1,65E+07	150	0,21
S9	70	85	1,21	0,92	5950	3,58E+06	2,43E+06	150	0,21
S10	95	80	1,19	0,91	7600	4,05E+06	5,72E+06	150	0,21
S11	95	75	1,27	0,94	7125	3,34E+06	5,36E+06	150	0,21

Fonte: Elaboração própria

Tabela 25 - Valores de coeficiente de mola (SVA)

Sapata	k _v Kgf/cm ³	k _{rx} kgf·cm/rad	k _{ry} kgf·cm/rad	k _{rx} tf·m/rad	k _{ry} tf·m/rad
S1	2,31	6,26E+06	1,15E+07	63	115
S2	2,31	6,26E+06	1,15E+07	63	115
S3	2,71	6,95E+06	3,91E+06	70	39
S4	1,57	3,17E+07	2,27E+07	317	227
S5	1,73	1,37E+07	2,86E+07	137	286
S6	1,99	1,07E+07	1,63E+07	107	163
S7	1,64	2,81E+07	1,98E+07	281	198
S8	1,73	1,37E+07	2,86E+07	137	286
S9	2,44	8,75E+06	5,93E+06	87	59
S10	2,16	8,76E+06	1,23E+07	88	123
S11	2,23	7,45E+06	1,20E+07	74	120

Fonte: Elaboração própria

4.2.2 Geometria das sapatas, pilares (SVA)

Na Tabela 26 estão representadas as dimensões das sapatas de divisa (S2, S5, S8 e S11) assim como as dimensões de seus respectivos pilares. As dimensões das sapatas centrais (S1, S4, S7 e S10), nas quais as vigas alavancas são ancoradas, encontram-se na Tabela 27. Estão apresentadas as plantas baixa da fundação,

planta baixa do pavimento térreo e uma perspectiva 3D da edificação, na Figura 51, Figura 52 e

Figura 53, respectivamente.

Tabela 26 - Geometria das sapatas de divisa e pilares (SVA)

Geometria	Sapatas			
	S2	S5	S8	S11
Dimensão em X (cm)	95	130	130	95
Dimensão em Y (cm)	70	90	90	70
Rodapé em X (cm)	25	30	30	25
Rodapé em Y (cm)	25	30	30	25
Altura (cm)	40	50	50	40
Peso (t)	0,54	1,15	1,15	0,54
Volume (m ³)	0,22	0,46	0,46	0,22
Área de fôrma (m ²)	0,82	1,32	1,32	0,82

Geometria	Pilares			
	P2	P5	P8	P11
Dimensão em X (cm)	30	19	19	30
Dimensão em Y (cm)	14	30	30	14
Colarinho em X (cm)	5	5	5	5
Colarinho em Y (cm)	5	5	5	5
Excentricidade em X (cm)	27,5	50,5	50,5	27,5
Excentricidade em Y (cm)	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

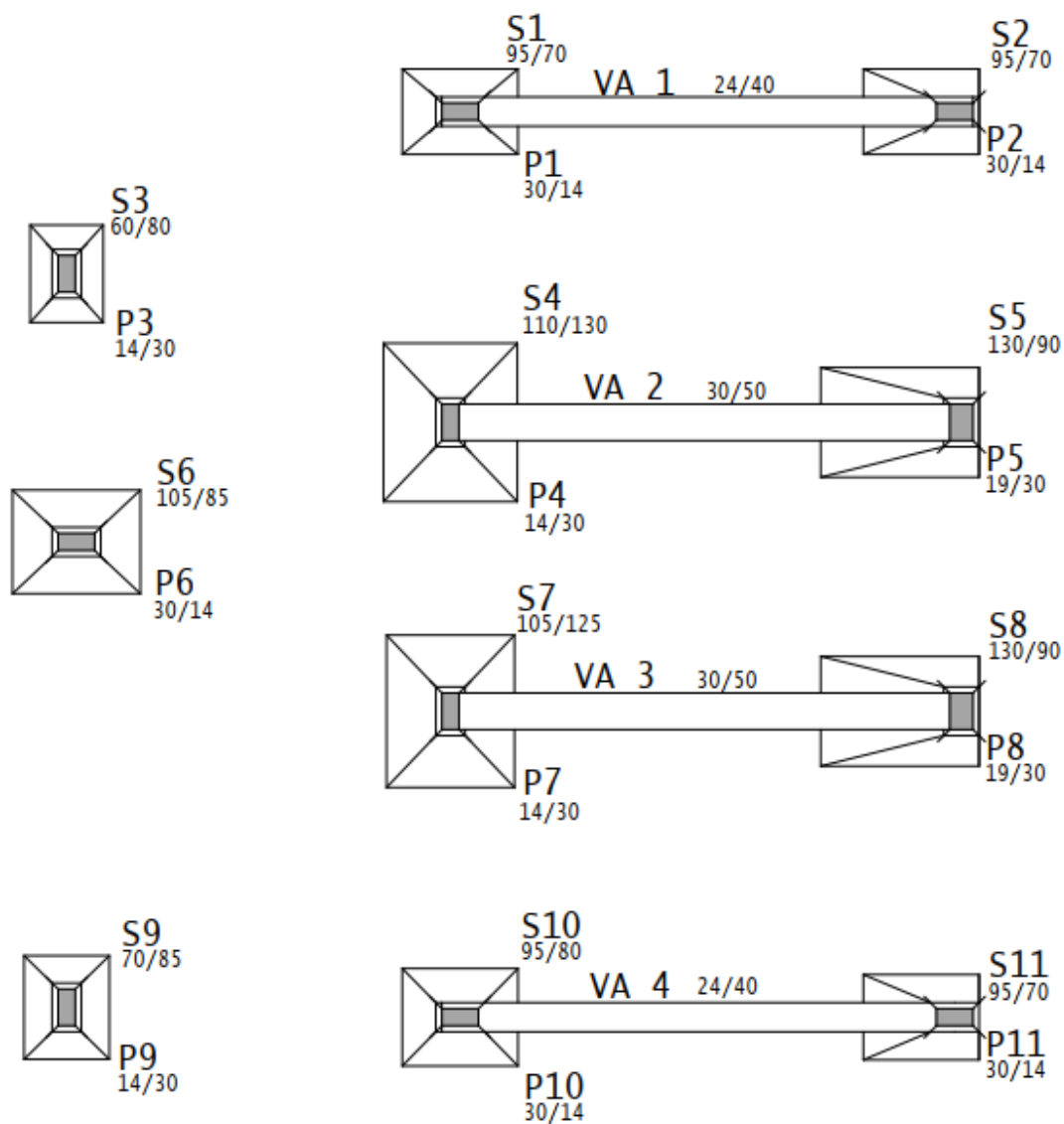
Tabela 27 - Geometria das sapatas centrais para ancoragem das vigas alavancas (SVA)

Geometria	Sapatas			
	S1	S4	S7	S10
Dimensão em X (cm)	95	110	105	95
Dimensão em Y (cm)	70	130	125	80

Rodapé em X (cm)	25	25	25	25
Rodapé em Y (cm)	25	25	25	25
Altura (cm)	40	40	40	40

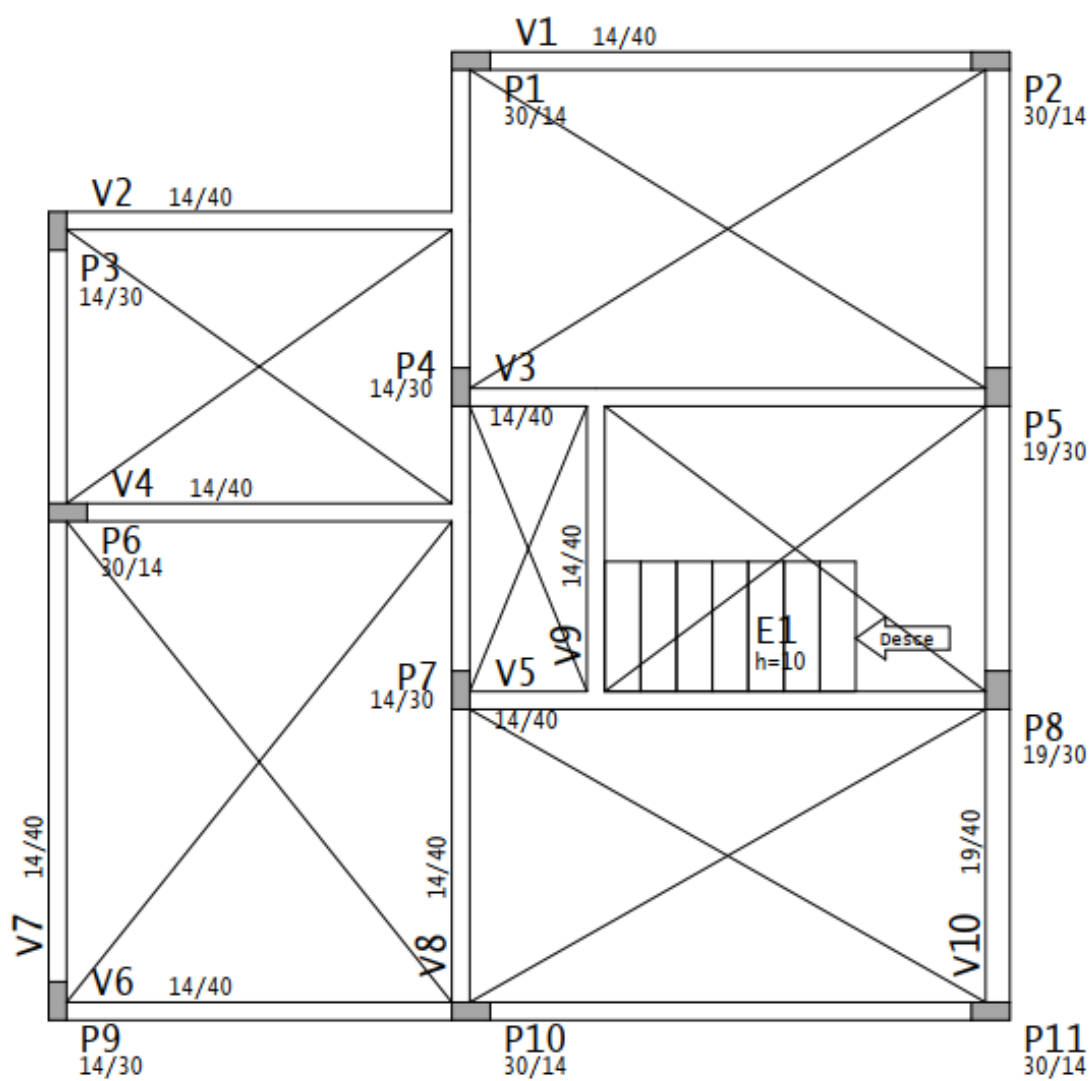
Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Figura 51 - Planta baixa da fundação - SVA



Fonte: Elaboração própria

Figura 52 - Planta baixa do pavimento térreo - SVA



Fonte: Elaboração própria

Figura 53 - Perspectiva 3D - SVA



Fonte: Elaboração própria

4.2.3 Esforços atuantes, dimensionamento e detalhamento (SVA)

Como foi adotada uma tensão admissível de 3 kgf/cm^2 , e um coeficiente de majoração de tensão resistente do solo para flexocompressão de 1,3, o limite de tensão no solo é de $3,90 \text{ kgf/cm}^2$, sendo todas as tensões atuantes (considerando o peso próprio da sapata) dentro deste limite. Estes valores estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Tensões no solo (SVA)

Sapata	Solicitação	Tensão (kgf/cm ²)		Situação
		Atuante	Limite	
S2	Máxima	1,47	3,90	OK
	Média	1,38	3,90	OK
S5	Máxima	1,69	3,90	OK
	Média	1,46	3,90	OK
S8	Máxima	1,86	3,90	OK
	Média	1,86	3,90	OK
S11	Máxima	1,43	3,90	OK
	Média	1,33	3,90	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Considerando a combinação 40 do *software*, com o coeficiente ponderador de esforços (γ_f) de 1,4 e o coeficiente ponderador adicional de esforços (γ_n) de 1,2, assim obtendo os esforços de cálculo atuantes no topo da sapata (ou na base do pilar) por $S_{sd} = S_k \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$. Na Tabela 29 encontram-se estes esforços de cálculo atuantes nas quatro sapatas de divisa, assim como o dimensionamento e detalhamento de cada, nas Tabela 30 e Tabela 31, respectivamente. O detalhamento das sapatas centrais (S1, S4, S7 e S10), nas quais as vigas de transição são ancoradas, encontra-se na Tabela 32.

Tabela 29 - Esforços atuantes (SVA)

Sapata	F _{Zsd} (tf)	F _{Xsd} (tf)	F _{Ysd} (tf)	M _{Zsd} (tf·m)	M _{Xsd} (tf·m)	M _{Ysd} (tf·m)
S2	14,48	-0,52	0,15	-0,03	0,15	0,02
S5	32,16	-3,01	0,15	-0,07	1,38	0,00
S8	33,36	-3,16	-0,12	0,07	1,43	-0,02
S11	13,91	-0,57	-0,17	0,05	0,15	-0,02

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 30 – Dimensionamento das sapatas de divisa (SVA)

Sapata	Sentido	Momentos (tf·m)			Armaduras (cm ²)			
		M _{sd}	M _{min}	A _{Scalc}	A _{Scalc,corr}	A _{Smin,p}	A _{Smin,crit}	A _{Snec}
S2	X	7,28	4,18	5,00	5,00	3,68	1,50	5,00
	Y	2,13	5,01	4,00	4,00	5,08	1,50	5,08
S5	X	26,81	8,66	14,90	14,90	6,00	1,50	14,90
	Y	5,36	10,26	6,50	6,50	8,23	1,50	8,23
S8	X	26,81	8,66	14,90	14,90	6,00	1,50	14,90
	Y	5,36	10,26	6,50	6,50	8,23	1,50	8,23
S11	X	7,28	4,18	5,00	5,00	3,68	1,50	5,00
	Y	2,13	5,01	4,00	4,00	5,08	1,50	5,08

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 31 – Detalhamento das sapatas de divisa (SVA)

Sapata	Sentido	Armaduras				
		A_{Sdet} (cm ²)	$A_{Sdet/s}$ (cm ² /m)	N_{Φ}	Φ (mm)	$c/$ (cm)
S2	X	5,00	7,57	6	12,5	12
	Y	5,08	5,35	8	10	12
S5	X	14,90	17,22	9	16	10
	Y	8,23	6,33	12	10	11
S8	X	14,90	17,22	9	16	10
	Y	8,23	6,33	12	10	11
S11	X	5,00	7,57	6	12,5	12
	Y	5,08	5,35	8	10	12

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 32 - Detalhamento das sapatas centrais para ancoragem das vigas alavancas (SVA)

Sapata	Sentido	Armaduras				
		A_{Sdet} (cm ²)	$A_{Sdet/s}$ (cm ² /m)	N_{Φ}	Φ (mm)	$c/$ (cm)
S1	X	3,68	5,26	6	10	12
	Y	5,08	5,35	8	10	12
S4	X	6,79	5,22	10	10	13
	Y	5,63	5,36	9	10	13
S7	X	6,54	5,24	10	10	13
	Y	5,39	5,13	8	10	14
S10	X	4,17	5,21	7	10	12
	Y	5,08	5,35	8	10	12

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 33 e Tabela 34 estão apresentadas as armaduras das vigas alavancas, tanto à flexão como ao cisalhamento, respectivamente.

Tabela 33 - Armaduras à flexão das vigas alavancas

Viga	Seção	A,s máx (M+)			A,s máx (M-)		
		n	Φ (mm)	As'	n	Φ (mm)	As'
VA 1	24 X 40	2	10	-	4	10	-
VA 2	30 X 50	3	10	-	2	20	-
VA 3	30 X 50	3	10	-	4	16	-
VA 4	24 X 40	2	10	-	3	10	-

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 34 - Armaduras ao cisalhamento das vigas alavancas

Viga	Armadura			V_{Sd}/V_{Rd2}	T_{Sd}/T_{Rd2}	$V_{Sd}/V_{Rd2} +$
	Φ_e (mm)	c/ (mm)	Ramos	(%)	(%)	T_{Sd}/T_{Rd2}
VA 1	6,3	22	2	5,49	-	-
VA 2	6,3	20	2	7,12	0	7,16
VA 3	6,3	20	2	7,25	0	7,29
VA 4	6,3	22	2	5,13	0	5,18

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

O detalhamento das sapatas e das vigas alavancas encontram-se nos Apêndices B.1 e B.2, respectivamente.

4.2.4 Verificações (SVA)

Para a verificação de escorregamento da armadura, o software utiliza a verificação do item 9.3.2.3 da ABNT NBR 6118:2014. Quando a armadura tem diâmetro igual ou superior a 20mm, deve ser verificada a aderência desta com o concreto para evitar o escorregamento. Na Tabela 35 está apresentado os valores do *software*, onde f_{bd} é a resistência de aderência de cálculo, N o número de armaduras na seção analisada.

Tabela 35 - Verificação do detalhamento – escorregamento da armadura (SVA)

Sapata	Sentido	Dados					Força (tf)		Aviso
		f_{bd} (MPa)	$f_{bd,escor}$ (MPa)	N	Φ (mm)	d (cm)	Atuante	Limite	
S2	X	2	4	6	12,5	37	22,90	26,81	OK
	Y	2	4	8	10	35	14,37	27,05	OK
S5	X	2	4	9	16	47	49,63	65,39	OK
	Y	2	4	12	10	45	22,77	52,17	OK
S8	X	2	4	9	16	47	49,63	65,39	OK
	Y	2	4	12	10	45	22,77	52,17	OK
S11	X	2	4	6	12,5	37	22,90	26,81	OK
	Y	2	4	8	10	35	14,27	27,05	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 36 encontra-se o resultado da verificação ao tombamento, realizada com a combinação 40 do software, sendo esta verificação atendida em todas as sapatas. Para esta solução de sapata em divisa, esta verificação foi atendida por todas as combinações.

Tabela 36 - Verificação ao tombamento (SVA)

Sapata	Sentido	Nsk	Dsap	exc	PPsk	Msk	Hsk	Hsap	C. Tomb.		Aviso
									At.	Mín.	
S2	X	8,62	95	27,5	0,54	0,09	-0,31	40	58,28	1,5	OK
	Y	8,62	70	0	0,54	0,01	0,09	40	69,71	1,5	OK
S5	X	19,14	130	50,5	1,15	0,82	-1,79	50	47,00	1,5	OK
	Y	19,14	90	0	1,15	0,00	0,09	50	202,93	1,5	OK
S8	X	19,86	130	50,5	1,15	0,85	-1,88	50	40,33	1,5	OK
	Y	19,86	90	0	1,15	-0,01	-0,07	50	210,13	1,5	OK
S11	X	8,28	95	27,5	0,54	0,09	-0,34	40	41,6	1,5	OK
	Y	8,28	70	0	0,54	-0,01	-0,10	40	61,76	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

A verificação ao deslizamento está apresentada na Tabela 37, onde foi atendida para todas as sapatas.

Tabela 37 - Verificação ao deslizamento (SVA)

Sapata	Sentido	Nsk	PPsk	μ	Hsk	C. Desliz.		Aviso
						At.	Mín.	
S2	X	8,62	0,54	0,3	-0,31	8,87	1,5	OK
	Y	8,62	0,54	0,3	0,09	30,54	1,5	OK
S5	X	19,14	1,15	0,3	-1,79	3,4	1,5	OK
	Y	19,14	1,15	0,3	0,09	67,64	1,5	OK
S8	X	19,86	1,15	0,3	-1,88	3,35	1,5	OK
	Y	19,86	1,15	0,3	-0,07	90,06	1,5	OK
S11	X	8,28	0,54	0,3	-0,34	7,78	1,5	OK
	Y	8,28	0,54	0,3	-0,10	26,47	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 38 está apresentada a verificação da compressão diagonal feita pelo *software*.

Tabela 38 - Verificação à compressão diagonal (SVA)

Sapata	Sentido	Seção (cm)		Tensão (kgf/cm ²)		Situação
		ds	bs	Atuante	Limite	
S2	X+	36	14	0,91	43,39	OK
	X-	36	14	34,17	43,39	OK
	Y+	36	30	6,31	43,39	OK
	Y-	36	30	6,31	43,39	OK
S5	X+	46	30	0,65	43,39	OK
	X-	46	30	31,50	43,39	OK
	Y+	46	19	6,71	43,49	OK
	Y-	46	19	6,71	43,49	OK
S8	X+	46	30	0,65	43,39	OK
	X-	46	30	31,50	43,39	OK
	Y+	46	19	6,71	43,39	OK
	Y-	46	19	6,71	43,39	OK
S11	X+	36	14	0,91	43,39	OK
	X-	36	14	34,17	43,39	OK
	Y+	36	30	6,31	43,39	OK
	Y-	36	30	6,31	43,39	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

A verificação ao esforço cortante está apresentada na Tabela 39.

Tabela 39 - Verificação ao esforço cortante (SVA)

Sapata	Sentido	Seção (cm)		Força (tf)		Situação
		ds	bs	Atuante	Limite	
S2	X+	0	70	0,00	0,00	OK
	X-	31,5	50	14,39	18,85	OK
	Y+	15	53	2,85	9,52	OK
	Y-	15	53	2,85	9,52	OK
S5	X+	0	90	0,00	0,00	OK
	X-	41,7	76	37,16	37,90	OK
	Y+	10,5	47	1,82	5,91	OK
	Y-	10,5	47	1,82	5,91	OK
S8	X+	0	90	0,00	0,00	OK
	X-	41,7	76	37,16	37,90	OK
	Y+	10,5	47	1,82	5,91	OK
	Y-	10,5	47	1,82	5,91	OK
S11	X+	0	70	0,00	0,00	OK
	X-	31,5	50	14,39	18,85	OK
	Y+	15	53	2,85	9,52	OK
	Y-	15	53	2,85	9,52	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

4.3 Sapata de divisa com viga de transição - SVT

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes a sapata de divisa com viga de transição.

4.3.1 Coeficiente de Mola (SVT)

As características geométricas de todas as sapatas e os parâmetros do solo encontram-se na Tabela 40 e os valores de k_v , k_{v_x} e k_{v_y} estão mostrados na Tabela 41, onde as sapatas S2, S5, S8 e S11 são as sapatas de divisa.

Tabela 40 - Características geométricas das sapatas e parâmetros do solo (SVT)

Sapata	Lx cm	Ly cm	L/B	I	A cm ²	Ix cm ⁴	Iy cm ⁴	E Kgf/cm ²	ν
S1	90	75	1,20	0,91	6750	3,16E+06	4,56E+06	150	0,21
S2	95	75	1,27	0,94	7125	3,34E+06	5,36E+06	150	0,21
S3	60	80	1,33	0,96	4800	2,56E+06	1,44E+06	150	0,21
S4	110	125	1,14	0,89	13750	1,79E+07	1,39E+07	150	0,21
S5	120	105	1,14	0,89	12600	1,16E+07	1,51E+07	150	0,21
S6	105	85	1,24	0,93	8925	5,37E+06	8,20E+06	150	0,21
S7	105	120	1,14	0,89	12600	1,51E+07	1,16E+07	150	0,21
S8	110	80	1,38	0,98	8800	4,69E+06	8,87E+06	150	0,21
S9	70	85	1,21	0,92	5950	3,58E+06	2,43E+06	150	0,21
S10	95	80	1,19	0,91	7600	4,05E+06	5,72E+06	150	0,21
S11	100	70	1,43	1,00	7000	2,86E+06	5,83E+06	150	0,21

Fonte: Elaboração própria

Tabela 41 - Valores de coeficiente de mola (SVT)

Sapata	k_v Kgf/cm ³	k_{r_x} kgf·cm/rad	k_{r_y} kgf·cm/rad	k_{r_x} tf·m/rad	k_{r_y} tf·m/rad
S1	2,29	7,25E+06	1,04E+07	73	104
S2	2,23	7,45E+06	1,20E+07	74	120
S3	2,71	6,95E+06	3,91E+06	70	39
S4	1,61	2,87E+07	2,23E+07	287	223
S5	1,68	1,94E+07	2,54E+07	194	254
S6	1,99	1,07E+07	1,63E+07	107	163
S7	1,68	2,54E+07	1,94E+07	254	194
S8	2,00	9,40E+06	1,78E+07	94	178
S9	2,44	8,75E+06	5,93E+06	87	59
S10	2,16	8,76E+06	1,23E+07	88	123
S11	2,24	6,41E+06	1,31E+07	64	131

Fonte: Elaboração própria

4.3.2 Geometria das sapatas, pilares (SVT)

Na Tabela 42 estão representadas as dimensões das sapatas de divisa, assim como as dimensões de seus respectivos pilares de transição (PT). As dimensões das sapatas centrais (S1, S4, S7 e S10), nas quais as vigas de transição (baldrames) são ancoradas, encontram-se na Tabela 43. Estão apresentadas as plantas baixa da fundação, planta baixa do pavimento térreo e uma perspectiva 3D da edificação, na Figura 54, Figura 55 e Figura 56, respectivamente.

Tabela 42 - Geometria das sapatas e pilares (SVT)

Geometria	Sapatas			
	S2	S5	S8	S11
Dimensão em X (cm)	95	120	110	100
Dimensão em Y (cm)	75	105	80	70
Rodapé em X (cm)	25	25	25	25
Rodapé em Y (cm)	25	25	25	25
Altura (cm)	40	40	40	40
Peso (t)	0,59	1,01	0,71	0,58
Volume (m ³)	0,23	0,40	0,29	0,23
Área de fôrma (m ²)	0,85	1,13	0,95	0,85
Geometria	Pilares de transição			
	PT1	PT2	PT3	PT4
Dimensão em X (cm)	30	30	30	30
Dimensão em Y (cm)	20	20	20	20
Colarinho em X (cm)	5	5	5	5
Colarinho em Y (cm)	5	5	5	5
Excentricidade em X (cm)	0	0	0	0
Excentricidade em Y (cm)	0	0	0	0

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

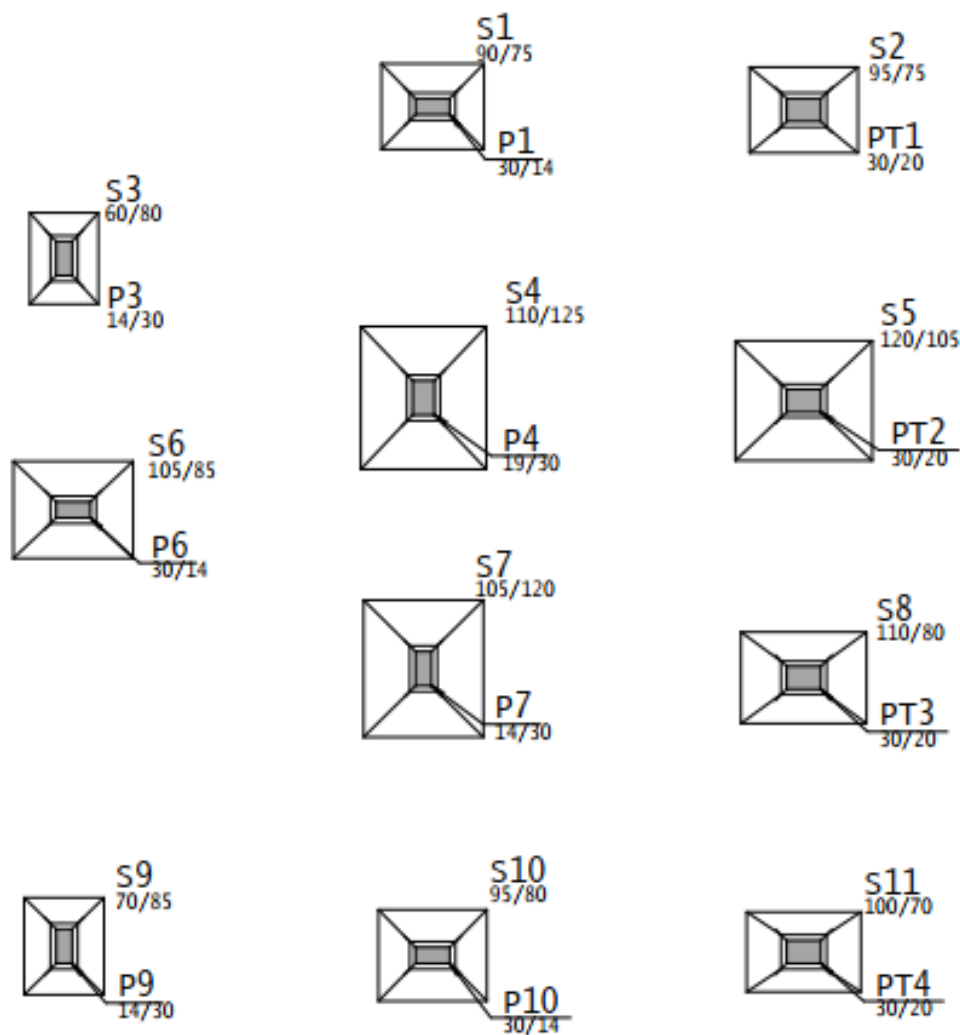
Tabela 43 - Geometria das sapatas centrais para ancoragem das vigas de transição (SVT)

Geometria	Sapatas			
	S1	S4	S7	S10
Dimensão em X (cm)	90	110	105	95
Dimensão em Y (cm)	75	125	120	80
Rodapé em X (cm)	35	25	25	25
Rodapé em Y (cm)	35	25	25	25
Altura (cm)	60	40	40	40

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

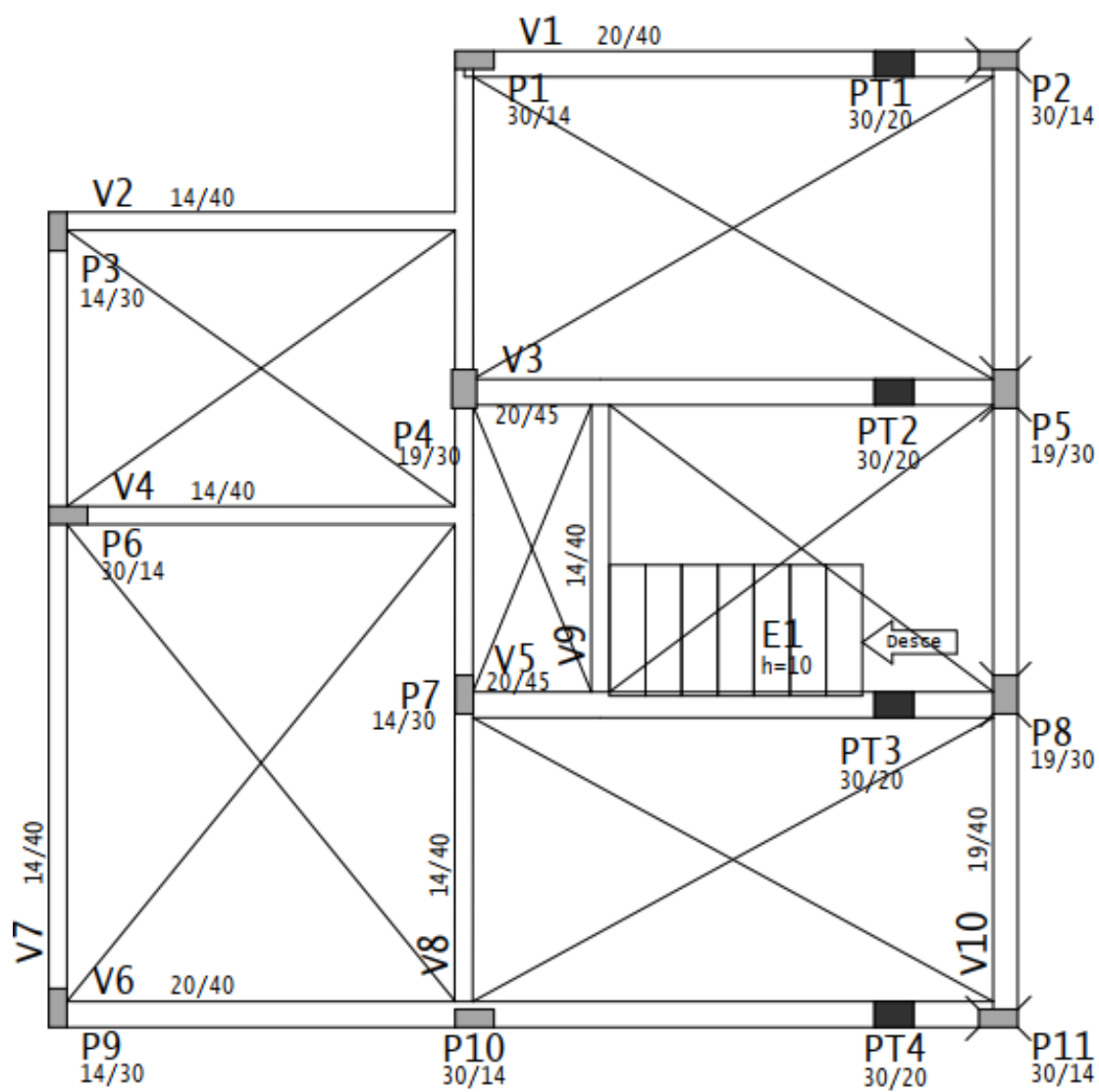
A sapata S1 resultou em uma maior altura do que as demais, devido ao erro na verificação ao deslizamento.

Figura 54 - Planta baixa de fundação - SVT



Fonte: Elaboração própria

Figura 55 - Planta baixa do pavimento térreo - SVT



Fonte: Elaboração própria

Figura 56 - Perspectiva 3D - SVT



Fonte: Elaboração própria

4.3.3 Esforços atuantes, dimensionamento e detalhamento (SVT)

Como foi adotada uma tensão admissível de 3 kgf/cm^2 , e um coeficiente de majoração de tensão resistente do solo para flexocompressão de 1,3, o limite de tensão no solo é de $3,90 \text{ kgf/cm}^2$, sendo todas as tensões atuantes (considerando o peso próprio da sapata) dentro deste limite. Estes valores estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 - Tensões no solo (SVT)

Sapata	Solicitação	Tensão (kgf/cm ²)		Situação
		Atuante	Limite	
S2	Máxima	1,84	3,90	OK
	Média	1,61	3,90	OK
S5	Máxima	1,94	3,90	OK
	Média	1,62	3,90	OK
S8	Máxima	2,71	3,90	OK
	Média	2,22	3,90	OK
S11	Máxima	1,82	3,90	OK
	Média	1,59	3,90	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Considerando a combinação 40 do *software*, com o coeficiente ponderador de esforços (γ_f) de 1,4 e o coeficiente ponderador adicional de esforços (γ_n) de 1,2, assim obtendo os esforços de cálculo atuantes no topo da sapata (ou na base do pilar) por $S_{sd} = S_k \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$. Na Tabela 45 encontram-se estes esforços de cálculo atuantes nas quatro sapatas de divisa, assim como o dimensionamento e detalhamento de cada, nas

Tabela 46 e Tabela 47, respectivamente. O detalhamento das sapatas centrais (S1, S4, S7 e S10), nas quais as vigas de transição são ancoradas, encontra-se na Tabela 48.

Tabela 45 - Esforços atuantes (SVT)

Sapata	Fz _{sd} (tf)	Fx _{sd} (tf)	Fy _{sd} (tf)	Mz _{sd} (tf·m)	Mx _{sd} (tf·m)	My _{sd} (tf·m)
S2	18,31	-1,33	0,02	0,00	0,12	0,02
S5	32,61	-3,49	0,03	0,00	0,10	0,03
S8	31,08	-3,70	0,00	0,00	0,08	0,02
S11	17,74	-1,38	0,00	0,00	0,12	0,02

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 46 – Dimensionamento das sapatas de divisa (SVT)

Sapata	Sentido	Momentos (tf·m)			Armaduras (cm ²)			
		M _{sd}	M _{min}	A _{Scalc}	A _{Scalc,corr}	A _{Smin,p}	A _{Smin,crit}	A _{Snec}
S2	X	2,55	4,57	3,10	3,10	3,99	1,50	3,93
	Y	2,20	5,62	4,10	4,10	5,08	1,50	5,08
S5	X	6,45	6,12	4,40	4,40	5,45	1,50	5,45
	Y	6,22	6,92	5,00	5,00	6,30	1,50	6,30
S8	X	3,96	4,81	3,30	3,30	4,23	1,50	4,23
	Y	2,98	6,40	4,60	4,60	5,81	1,50	5,81
S11	X	2,72	4,31	2,90	2,90	3,75	1,50	3,68

Y 1,94 5,88 4,20 4,20 5,33 1,50 5,08

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 47 – Detalhamento das sapatas de divisa (SVT)

Sapata	Sentido	Armaduras				
		A_{Sdet} (cm ²)	$A_{Sdet/s}$ (cm ² /m)	N_{Φ}	Φ (mm)	c/ (cm)
S2	X	3,99	5,33	7	10	11
	Y	5,08	5,35	8	10	12
S5	X	5,45	5,19	8	10	14
	Y	6,30	5,25	10	10	12
S8	X	4,23	5,28	7	10	12
	Y	5,81	5,28	9	10	13
S11	X	3,75	5,36	6	10	12
	Y	5,33	5,33	8	10	13

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 48 – Detalhamento das sapatas centrais para ancoragem das vigas alavancas (SVT)

Sapata	Sentido	Armaduras				
		A_{Sdet} (cm ²)	$A_{Sdet/s}$ (cm ² /m)	N_{Φ}	Φ (mm)	c/ (cm)
S1	X	5,79	7,72	6	12,5	13
	Y	7,16	7,96	7	12,5	14
S4	X	6,54	5,24	10	10	13
	Y	5,69	5,17	9	10	13
S7	X	6,30	5,25	10	10	12
	Y	5,39	5,13	8	10	14
S10	X	4,17	5,21	7	10	12
	Y	5,08	5,35	8	10	12

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 49 e Tabela 50 estão apresentadas as armaduras das vigas de transição, tanto à flexão como ao cisalhamento, respectivamente. Na Tabela 51 estão as armaduras dos pilares de transição.

Tabela 49 - Armaduras à Flexão das vigas de transição

Viga	Vão	L (cm)	Seção (cm)	A,s máx (M+)			A,s máx (M-)			As, lat
				n	Φ(mm)	As'	n	Φ (mm)	As'	
V1	1	319,2	20 x 40	4	20	-	4	16	-	
	2	83,3	20 x 40	3	10	-	4	16	-	
V3	1	331,7	20 x 45	3	10	-	3	20	-	-
	2	84,8	20 x 45	3	10	-	4	20	Sim	Sim
V5	1	331,7	20 x 45	2	10	-	3	20	-	-
	2	84,8	20 x 45	3	10	-	4	20	Sim	Sim
V6	1	320	20 x 40	2	10	-	2	10	-	
	2	319,2	20 x 40	4	16	-	3	25	Sim	
	Balanço	98,8	20 x 40	-	0	-	4	20	-	

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 50 - Armaduras ao cisalhamento das vigas de transição

Viga	Vão	Faixa	L (cm)	Armadura		
				Φe (mm)	c/ (cm)	Ramos
V1	1	1	295,2	5	18	2
	2	1	61,8	8	15	2
V3	1	1	308,7	5	18	2
	2	1	61,8	10	12	2
V5	1	1	311,2	5	18	2
	2	1	61,8	10	12	2
V6	1	1	301	5	18	2
	2	1	295,2	5	18	2
	Balanço	1	80,8	8	12	2

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Tabela 51 - Armaduras dos pilares de transição

Pilar	Área (cm ²)	Armadura Longitudinal			σ (kgf/cm ²)	Armadura Transversal	
		n	Φ (mm)	As (cm ²)		Φ (mm)	c/ (cm)
PT 1	600,00	4	10	3,10	29,4	5	12
PT 2	600,00	4	12,5	4,90	42,8	6,3	15
PT 3	600,00	4	12,5	4,90	33,9	6,3	15
PT 4	600,00	4	10	3,10	64,1	5	12

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

O detalhamento das sapatas, das vigas de transição e dos pilares encontram-se nos Apêndices C.1, C.2 e C.3, respectivamente.

4.3.4 Verificações (SVT)

Para a verificação de escorregamento da armadura, o software utiliza a verificação do item 9.3.2.3 da ABNT NBR 6118:2014. Quando a armadura tem diâmetro igual ou superior a 20mm, deve ser verificada a aderência desta com o concreto para evitar o escorregamento. Na Tabela 52 está apresentado os valores do *software*, onde f_{bd} é a resistência de aderência de cálculo, N o número de armaduras na seção analisada.

Tabela 52 - Verificação do detalhamento – escorregamento da armadura (SVT)

Sapata	Sentido	Dados					Força (tf)		Aviso
		f_{bd} (MPa)	$f_{bd,escor}$ (MPa)	N	Φ (mm)	d (cm)	Atuante	Limite	
S2	X	2	4	7	10	37	13,87	25,02	OK
	Y	2	4	8	10	35	14,58	27,05	OK
S5	X	2	4	8	10	37	26,41	28,60	OK
	Y	2	4	10	10	35	27,67	33,81	OK
S8	X	2	4	7	10	37	18,00	25,02	OK
	Y	2	4	9	10	35	18,44	30,43	OK
S11	X	2	4	6	10	37	13,97	21,45	OK
	Y	2	4	8	10	35	13,97	27,05	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 53 encontra-se o resultado da verificação ao tombamento, realizada com a combinação 40 do software, sendo esta verificação atendida em todas as sapatas. Para esta solução de sapata em divisa, esta verificação também foi atendida por todas as combinações.

Tabela 53 - Verificação ao tombamento (SVT)

Sapata	Sentido	Nsk	Dsap	exc	PPsk	Msk	Hsk	Hsap	C. Tomb.		Aviso
									At.	Mín.	
S2	X	10,90	95	0	0,59	0,07	-0,79	40	22,18	1,5	OK
	Y	10,90	75	0	0,59	0,01	0,01	40	307,66	1,5	OK
S5	X	19,41	120	0	1,01	0,06	-2,08	40	15,87	1,5	OK
	Y	19,41	105	0	1,01	0,02	0,02	40	382,82	1,5	OK
S8	X	18,50	110	0	0,71	0,05	-2,20	40	12,73	1,5	OK
	Y	18,50	80	0	0,71	0,01	-0,00	40	768,58	1,5	OK
S11	X	10,56	100	0	0,58	0,07	-0,82	40	21,58	1,5	OK
	Y	10,56	70	0	0,58	0,01	0	40	389,77	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

A verificação ao deslizamento está apresentada na Tabela 54, onde foi atendida para todas as sapatas.

Tabela 54 - Verificação ao deslizamento (SVT)

Sapata	Sentido	Nsk	PPsk	μ	Hsk	C. Desliz.		Aviso
						At.	Mín.	
S2	X	10,90	0,59	0,3	-0,79	4,36	1,5	OK
	Y	10,90	0,59	0,3	0,01	344,58	1,5	OK
S5	X	19,41	1,01	0,3	-2,08	2,94	1,5	OK
	Y	19,41	1,01	0,3	0,00	306,26	1,5	OK
S8	X	18,50	0,71	0,3	-2,20	2,62	1,5	OK
	Y	18,50	0,71	0,3	-0,00	9999	1,5	OK
S11	X	10,56	0,58	0,3	-0,82	4,07	1,5	OK
	Y	10,56	0,58	0,3	0	9999	1,5	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

Na Tabela 55 está apresentada a verificação da compressão diagonal feita pelo *software*.

Tabela 55 - Verificação à compressão diagonal (SVT)

Sapata	Sentido	Seção (cm)		Tensão (kgf/cm ²)		Situação
		ds	bs	Atuante	Limite	
S2	X+	36	20	11,82	43,39	OK
	X-	36	20	11,82	43,39	OK
	Y+	36	30	7,38	43,39	OK
	Y-	36	30	7,38	43,39	OK
S5	X+	36	20	20,47	43,39	OK
	X-	36	20	20,47	43,39	OK
	Y+	36	30	14,38	43,39	OK
	Y-	36	30	14,38	43,39	OK
S8	X+	36	20	16,77	43,39	OK
	X-	36	20	16,77	43,39	OK
	Y+	36	30	8,66	43,39	OK
	Y-	36	30	8,66	43,39	OK
S11	X+	36	20	12,72	43,39	OK
	X-	36	20	12,72	43,39	OK
	Y+	36	30	6,41	43,39	OK
	Y-	36	30	6,41	43,39	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

A verificação ao esforço cortante está apresentada na Tabela 56.

Tabela 56 - Verificação ao esforço cortante (SVT)

Sapata	Sentido	Seção (cm)		Força (tf)		Situação
		ds	bs	Atuante	Limite	
S2	X+	21,8	56	4,91	14,58	OK
	X-	21,8	56	4,91	14,58	OK
	Y+	14,3	66	3,67	11,26	OK
	Y-	14,3	66	3,67	11,26	OK
S5	X+	30	56	11,36	20,11	OK
	X-	30	56	11,36	20,11	OK
	Y+	29,6	66	11,32	23,42	OK
	Y-	29,6	66	11,32	23,42	OK
S8	X+	33	56	8,09	22,12	OK
	X-	33	56	8,09	22,12	OK
	Y+	18	66	4,67	14,22	OK
	Y-	18	66	4,67	14,22	OK
S11	X+	25,5	56	5,70	17,09	OK
	X-	25,5	56	5,70	17,09	OK
	Y+	10,5	66	2,55	8,30	OK
	Y-	10,5	66	2,55	8,30	OK

Fonte: Adaptado de TQS (2023)

4.4 Comparação dos resultados

Em relação às dimensões das sapatas, a primeira solução (SSV) apresentou dimensões maiores (praticamente o dobro) que as demais, isto pelo fato de não possuir uma viga para absorver o momento fletor gerado pela excentricidade, e com isso, necessitando aumentar suas dimensões para atender todas as verificações principalmente em relação ao tombamento, compressão diagonal e fendilhamento, e ainda assim não sendo atendida a verificação ao tombamento para a maioria das combinações de ações. Também devido à ausência de viga, a SSV resulta em esforços verticais (carga dos pilares) menores, pois com a presença de uma viga alavanca, por exemplo, a sapata de divisa receberia os esforços desta viga, como mostrado na Figura 32. Apesar de receber esforços verticais menores, esta alternativa para sapata de divisa resultou em maior área de aço (maiores dimensões), se comparada com as demais. Em relação ao tombamento, a primeira solução obteve coeficientes de tombamento para o eixo X (eixo suscetível ao tombamento) muito próximos ao mínimo (1,5), novamente, devido a suas grandes dimensões, diferentes das demais soluções, que atenderam esta verificação com grande margem de segurança.

As outras duas alternativas de sapatas em divisa (SVA e SVT), apresentaram dimensões e esforços próximos, contudo, as sapatas de divisa com vigas de transição necessitaram de uma menor área de aço. Quanto as verificações ao tombamento, ao deslizamento, à diagonal comprimida e ao esforço cortante, ambas apresentaram facilidade de atender à estas verificações. As vigas alavancas resultaram em área de aço coerentes, já as vigas de transição necessitaram de grandes diâmetros, podendo ser resolvido aumentando suas dimensões. Porém, com isso, aumentaria a seção do pilar, e conseqüentemente a seção das sapatas, e assim podendo gerar problema quanto as verificações, portanto optou-se por manter as armaduras apresentadas.

Nas Tabela 57 estão apresentados o quantitativo de aço e concreto, respectivamente, para cada uma das três soluções de sapatas em divisa. Para o cálculo, os elementos considerados, além das próprias sapatas, foram as vigas alavancas (VA 1, VA 2, VA 3 e VA 4) e as vigas de transição (V1, V3, V5 e V6), esta última sendo a própria viga baldrame. Não foi considerado nenhum pilar no nível da fundação, pois o *software* apresenta o quantitativo de todos os lances juntos. No caso da sapata de divisa com viga de transição (SVT), poderia ser obtido o quantitativo de

aço e concreto dos pilares de transição, visto que estes são gerados separados (apenas 1 lance). Para resultar em uma comparação mais coerente, optou-se por considerar somente as sapatas e as vigas para o cálculo.

Tabela 57 - Quantitativo de aço e concreto

Tipo	Peso do aço (kgf)		Volume de concreto (m ³)
	CA 60	CA 50	
SSV	0	1302	17,08
SVA	0	401	19,12
SVT	15	397	4,20

Fonte: Elaboração própria

Analisando o quantitativo de materiais, observa-se que a solução que resultou em maior consumo de aço foi a sapata excêntrica de divisa (sem viga), sendo esta e a sapata excêntrica de divisa com viga alavanca, com volume de concreto praticamente iguais. A sapata com viga de transição resultou em pouquíssimo consumo de concreto, comparada as demais. Comparando as duas últimas alternativas, a melhor solução, para esta edificação em análise, consiste na sapata de divisa com viga de transição, analisando o consumo de materiais, e também a praticidade na construção, visto que a própria viga baldrame foi utilizada (neste caso) como a viga de transição.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de realizar o estudo de três alternativas possíveis para pilares de divisa, de uma edificação de dois pavimentos, utilizando o *software* TQS, considerando uma tensão admissível para o solo de 3 kgf/cm².

Para a sapata excêntrica de divisa (sem viga) (SSV), nota-se que esta solução torna-se inviável para a residência em questão, visto que se obteve grandes dimensões das sapatas em divisa para atender as verificações necessárias, sendo que, ainda assim, a verificação ao tombamento (tanto do *software* quanto da literatura) não foi atendida para todas as combinações. Com isso, as sapatas encontram-se muito próximas (de 17 a 33 cm de distância), podendo ocorrer recalques significativos e o solo vir a romper devido à interferência do bulbo de tensões. Quanto às sapatas excêntricas de divisa com viga alavanca (SVA) e sapatas de divisa com viga de transição (SVT), todas as verificações foram atendidas sem muita dificuldade, com dimensões coerentes de vigas e sapatas.

Considerando os resultados obtidos, com uma tensão admissível do solo de 3 kgf/cm², conclui-se que para esta edificação em específico, a melhor solução para se adotar é a sapata de divisa com viga de transição, esta resultando em um dimensionamento mais econômico, visto que as próprias vigas baldrame foram utilizadas para realizar a transição de cargas para o centro das sapatas, facilitando também a execução.

Apesar de algumas dificuldades encontradas, no geral, o *software* se apresentou satisfatório para a modelagem e análise das três soluções de sapatas em divisa, sendo recomendado para projetos estruturais.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se analisar a mesma edificação com as três soluções para pilares de divisa em outros softwares comerciais, tais como Eberick, Cypecad e SAP 2000, e comparar os resultados. Também, realizar uma análise de custo para cada uma das três soluções.

REFERÊNCIAS

- ANTONIAZZI, J. P. **Interação Solo-Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação**. Bauru, jun 2019. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>. Acesso em: 4 out. 2022
- CAMPOS, J. C. **Elementos de fundações em concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 727p.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 415p.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 1.ed. Volume 2. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2009, 589p.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. **Fundações diretas**: projeto geotécnico. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 142 p.
- MACHADO, C. P. **Edifícios de concreto armado**: fundações. EPUSP, 1985.
- MONTOYA, J.; MESENGUER, A. G.; CABRÉ, F. M.; PORTERO, J. C. A. **Hormigón armado**. 15.ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL, 2009. 629 p.
- REBELLO, Y. C. P. **Fundações**: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4.ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 234p.
- SOUZA, R. A.; REIS, H. C. **Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas**. [S. l.], v. 30, n. 2, p. 161-171, 2008. DOI: 10.4025/actascitechnol.v30i2.5467. Disponível em: periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/5467 Acesso em 10 maio 2023.

STEINDORFF, E. D. **Comparação em soluções de divisa**: Sapatas e vigas de equilíbrio 2017. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. *In*: HACHICH, W. (org.). **Fundações**: teoria e prática. São Paulo: Pini, 1996. 751 p.

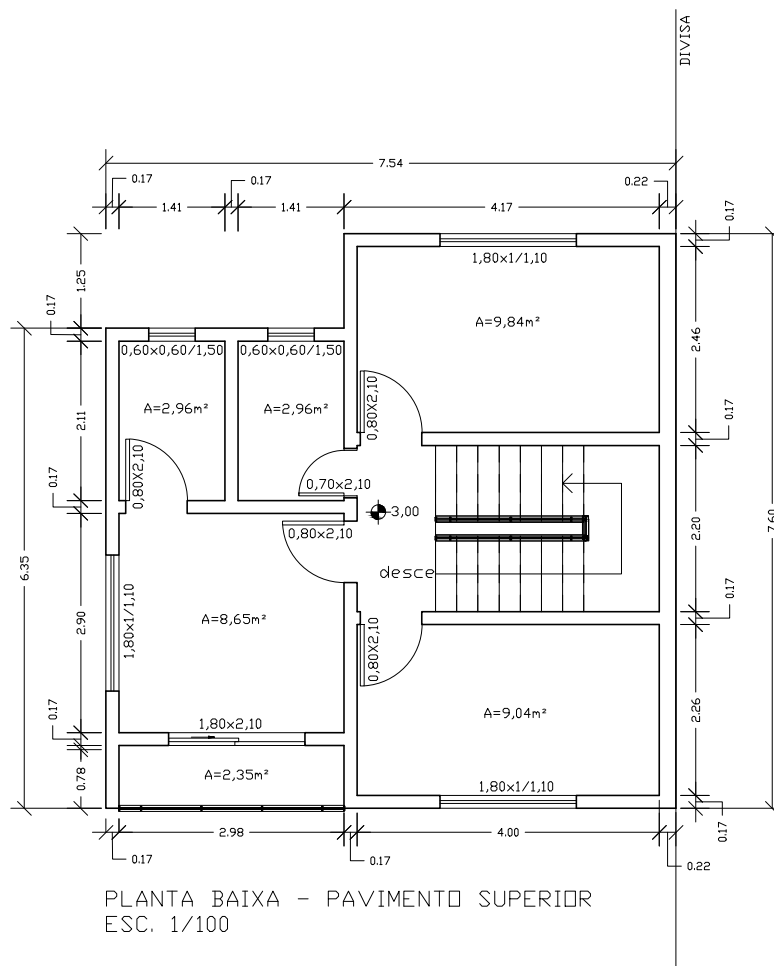
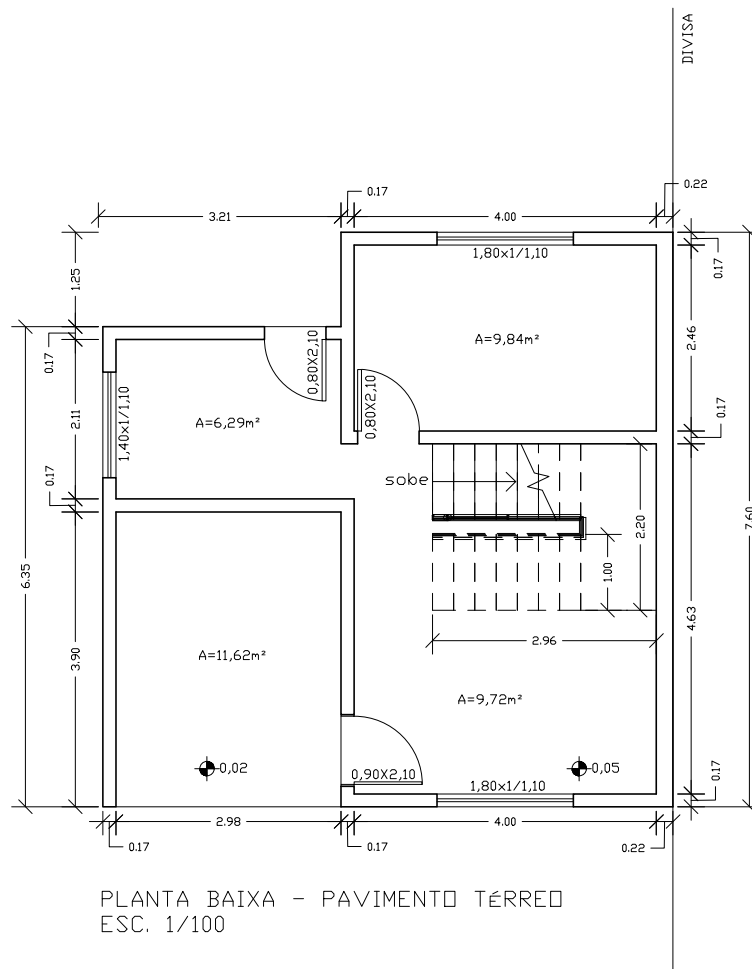
TQS INFORMÁTICA LTDA. TQS AG treinamento. **TQS Docs**. 20---. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3198&language=pt-BR>. Acesso em: 16 dez. 2022.

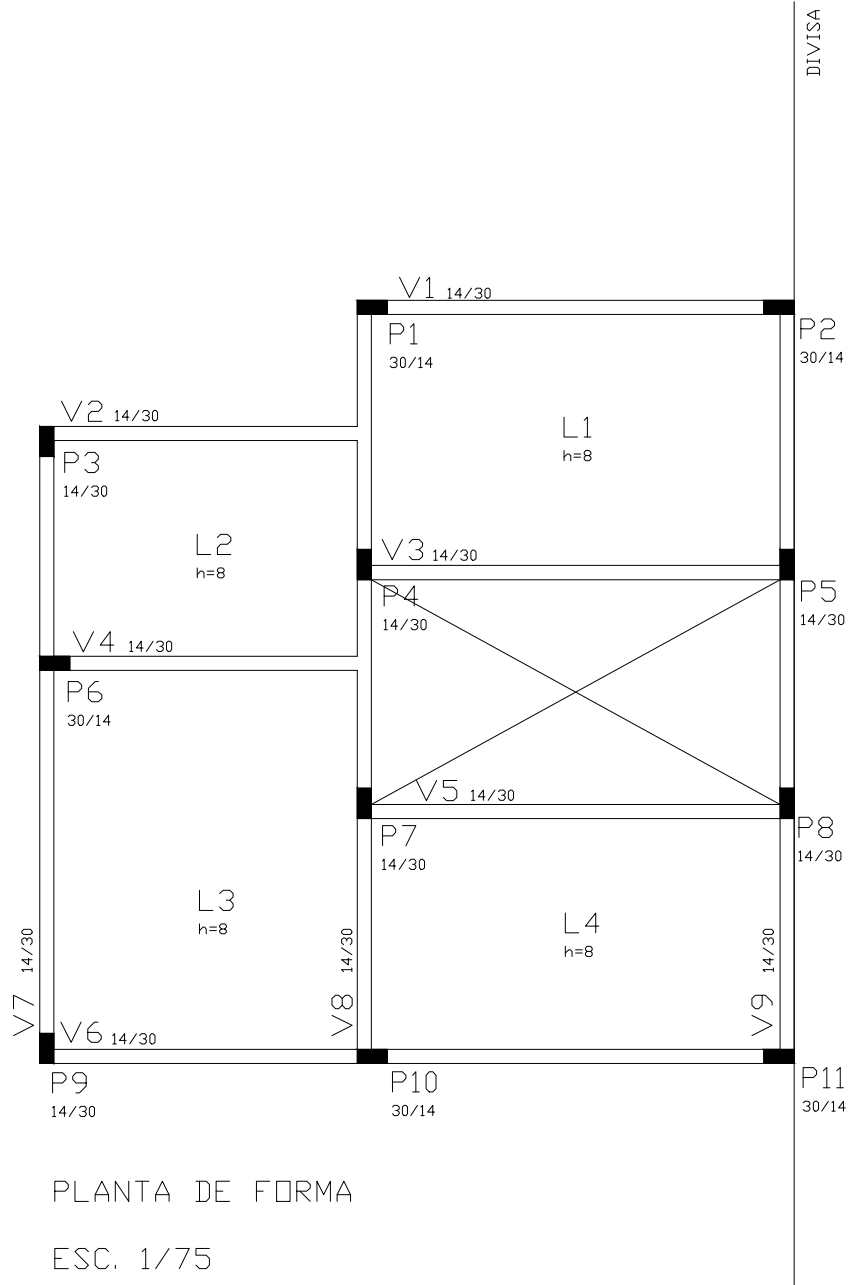
TQS INFORMÁTICA LTDA. CRV - sapatas e tubulões. **TQS Docs**. 20---. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3828&language=pt-br>. Acesso em: 25 abr. 2023.

TQS INFORMÁTICA LTDA. Sapatas Rígidas. **TQS Docs**. 20---. Disponível em: docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=637586755&language=pt-BR. Acesso em: 21 jun. 2023.

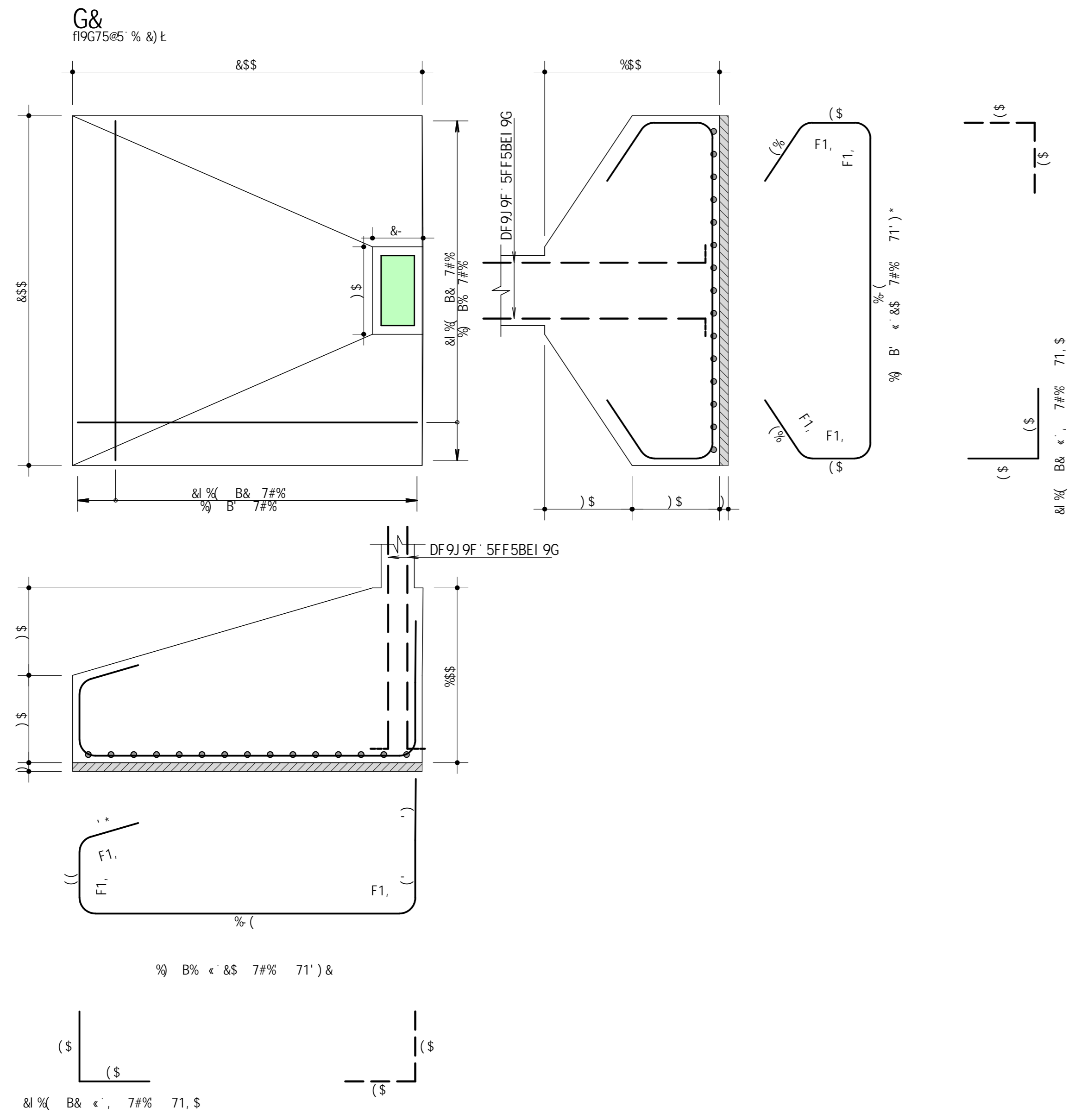
TQS INFORMÁTICA LTDA. Viga alavanca – Molas – Sapata de divisa. **TQS Docs**. 20---. Disponível em: docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3695&language=pt-br. Acesso em: 24 jun. 2023.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 568 p.

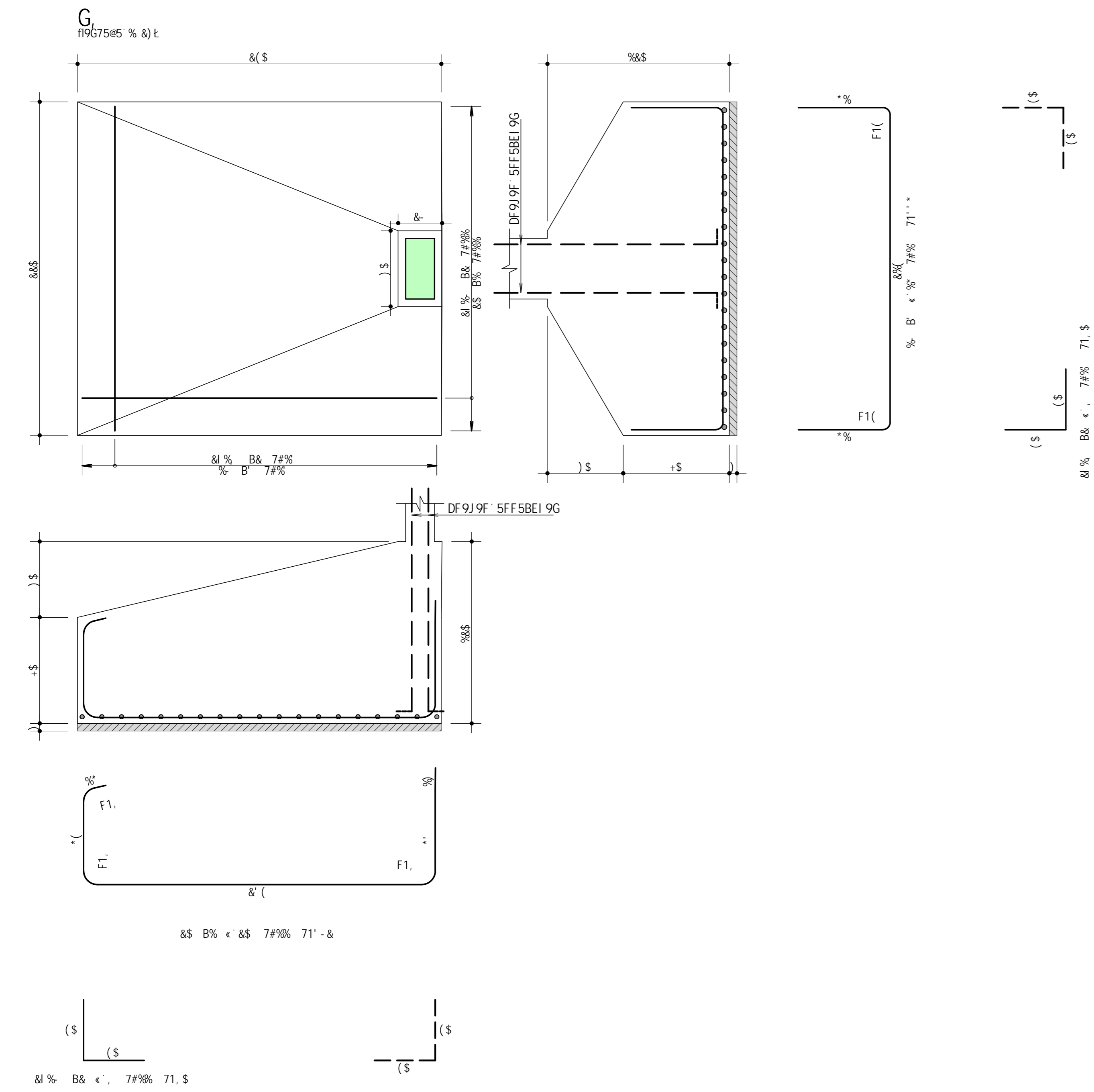




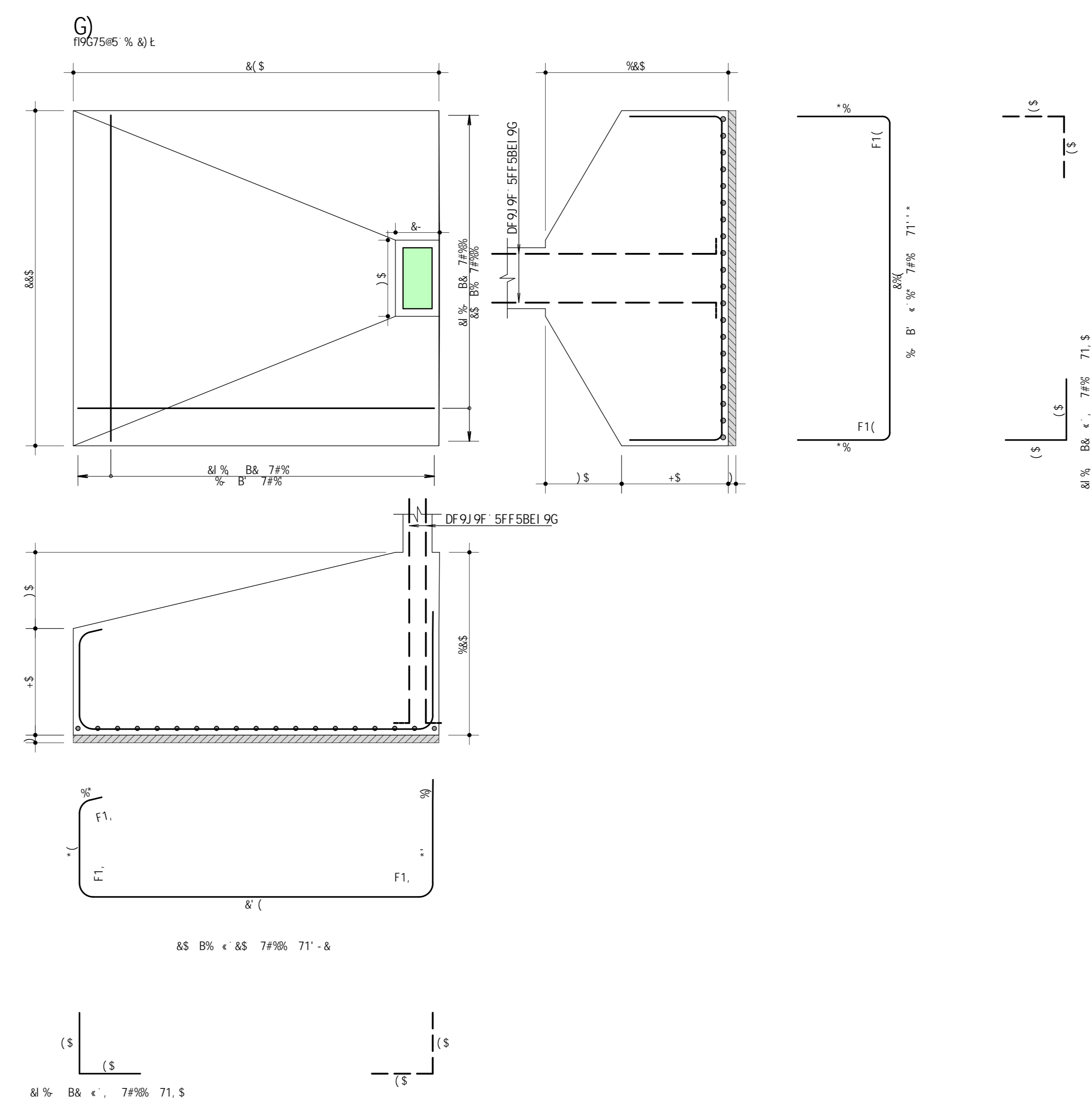
8YgYb\c·dfcXi n] Xc·dcf·j Yfg~c·UWX..a] WUz·dfc] V] Xc·i gc·WcaYFw] U



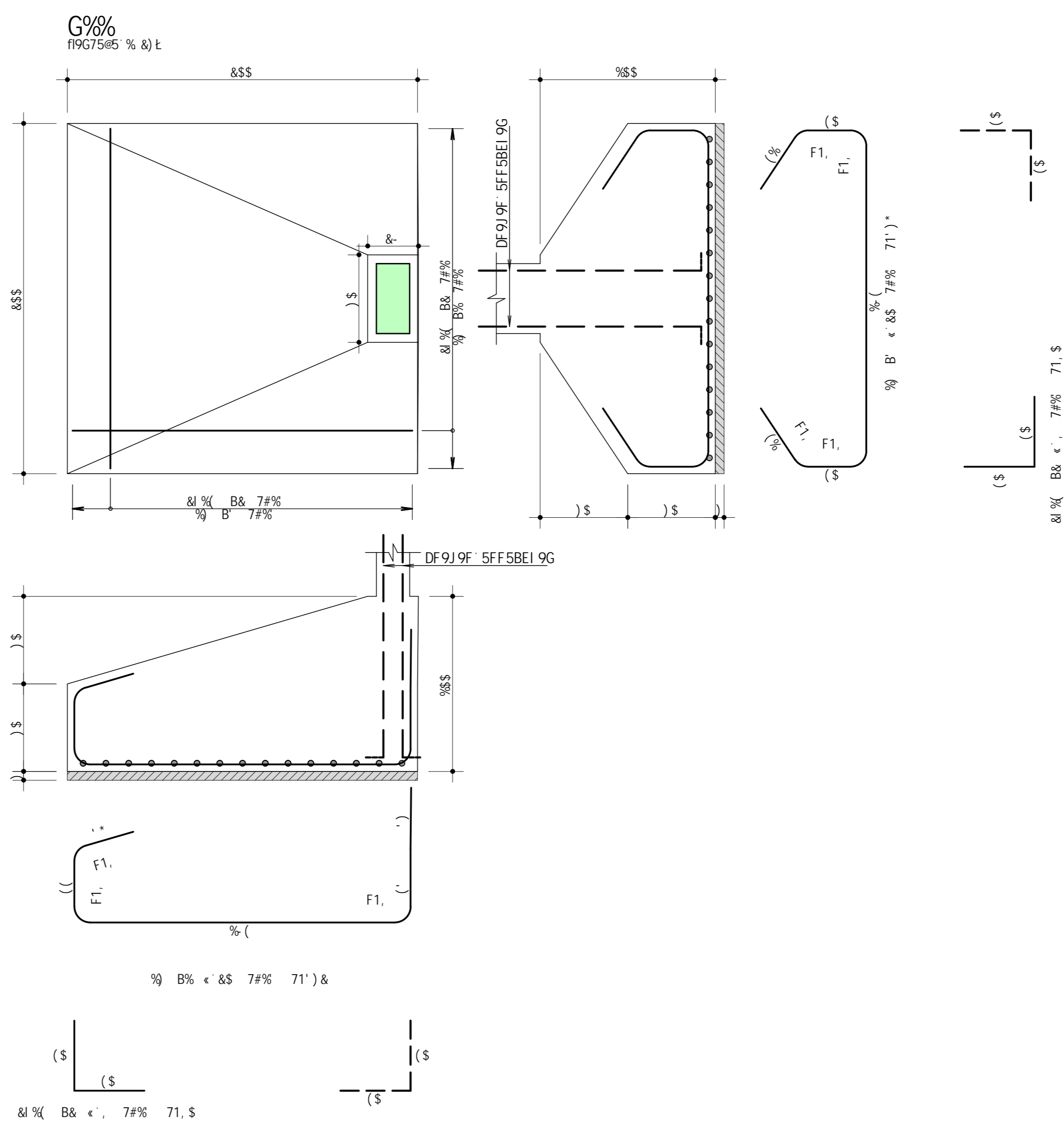
8YgYb\c·dfcXi n] Xc·dcf·j Yfg~c·UWX..a] WUz·dfc] V] Xc·i gc·WcaYFw] U



8YgYb\c·dfcXi n] Xc·dcf·j Yfg~c·UWX..a] WUz·dfc] V] Xc·i gc·WcaYFw] U

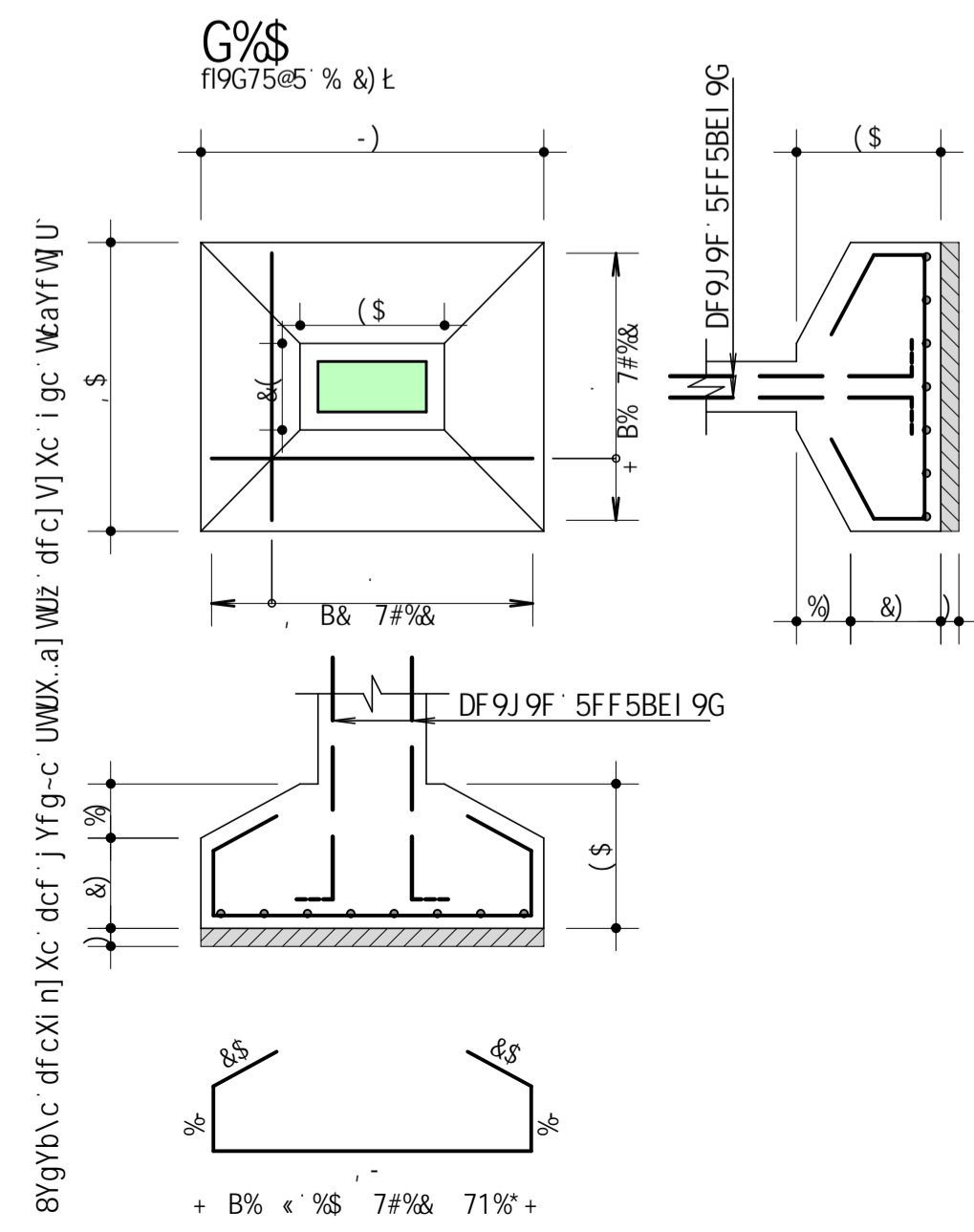
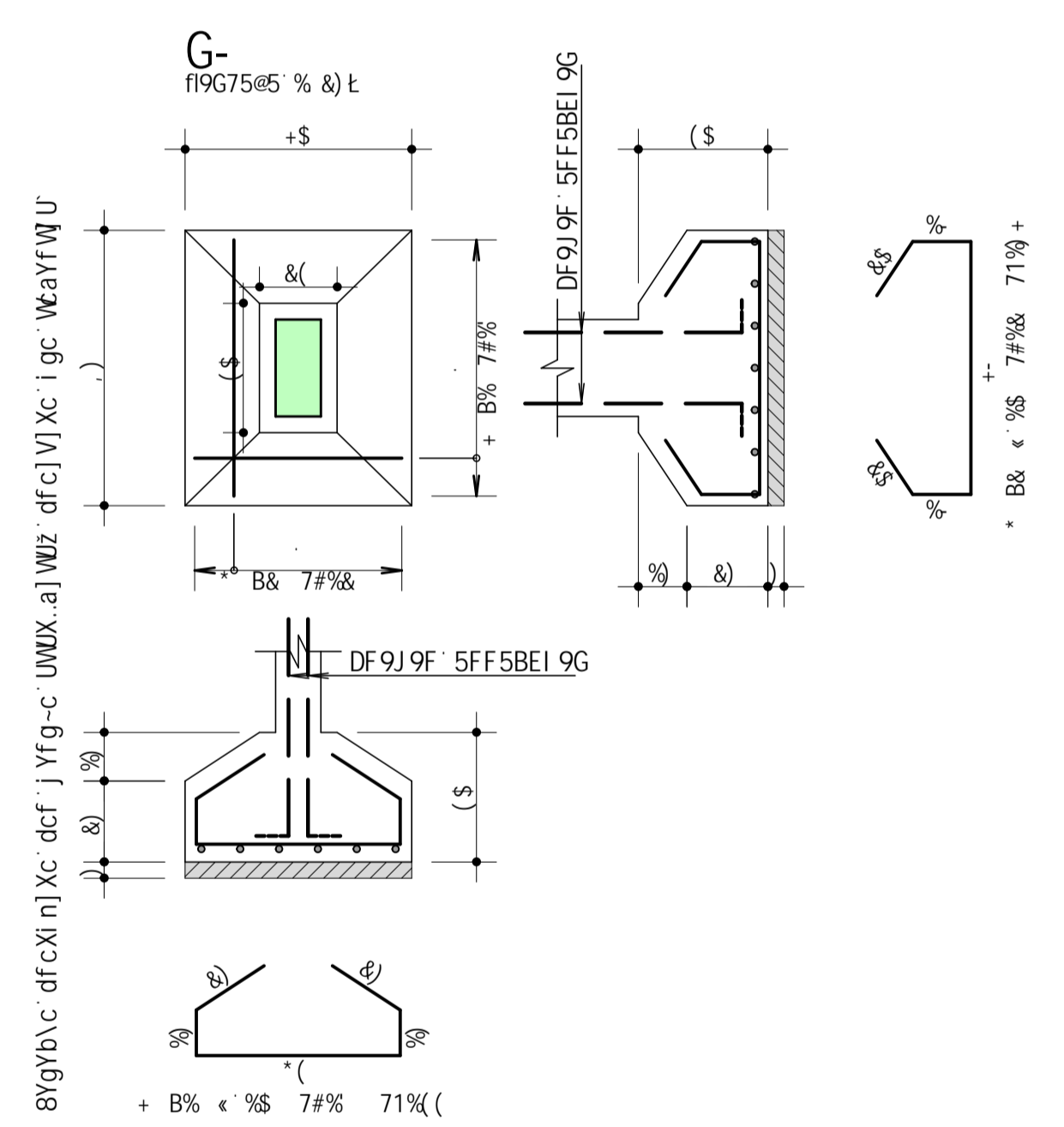
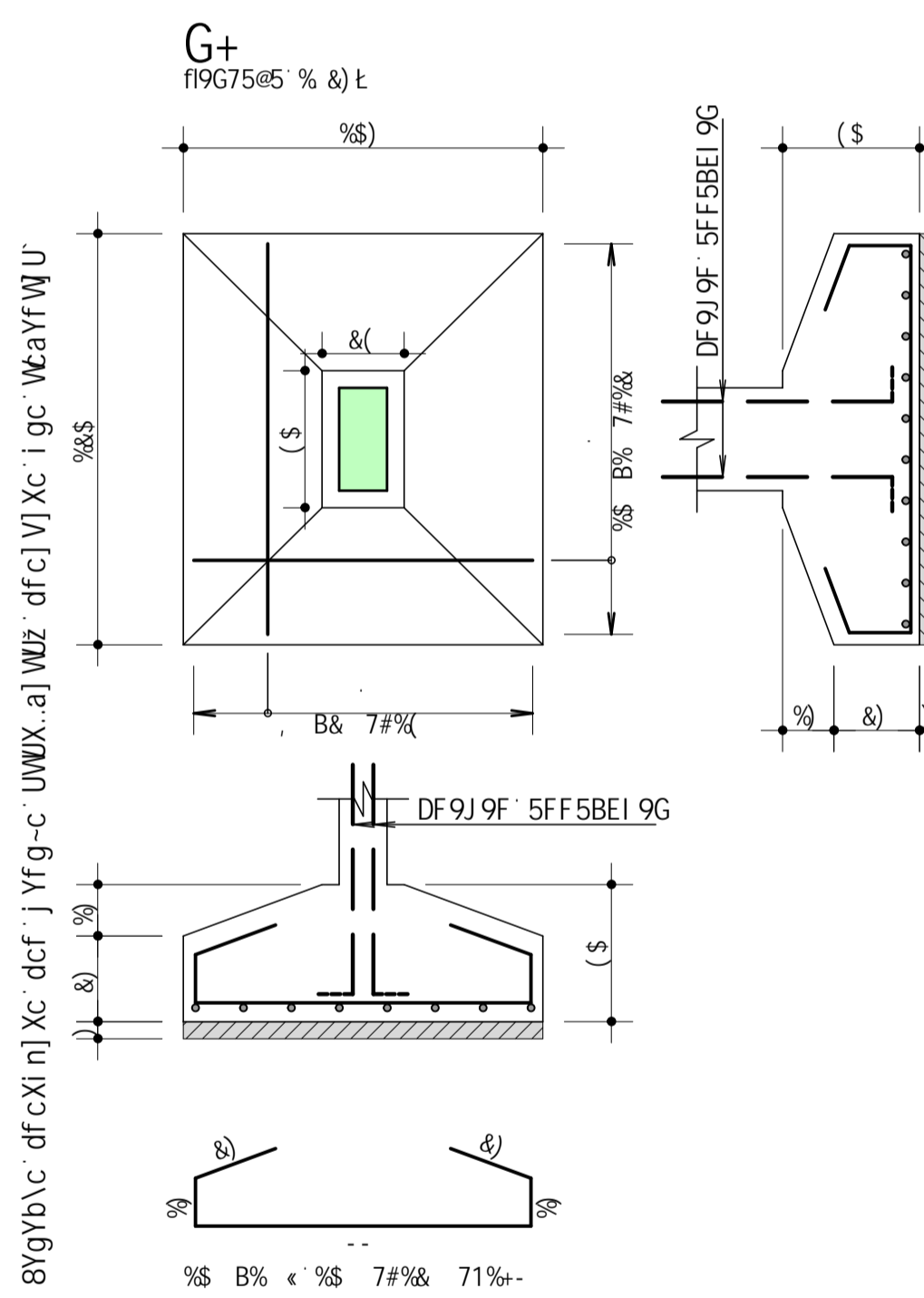
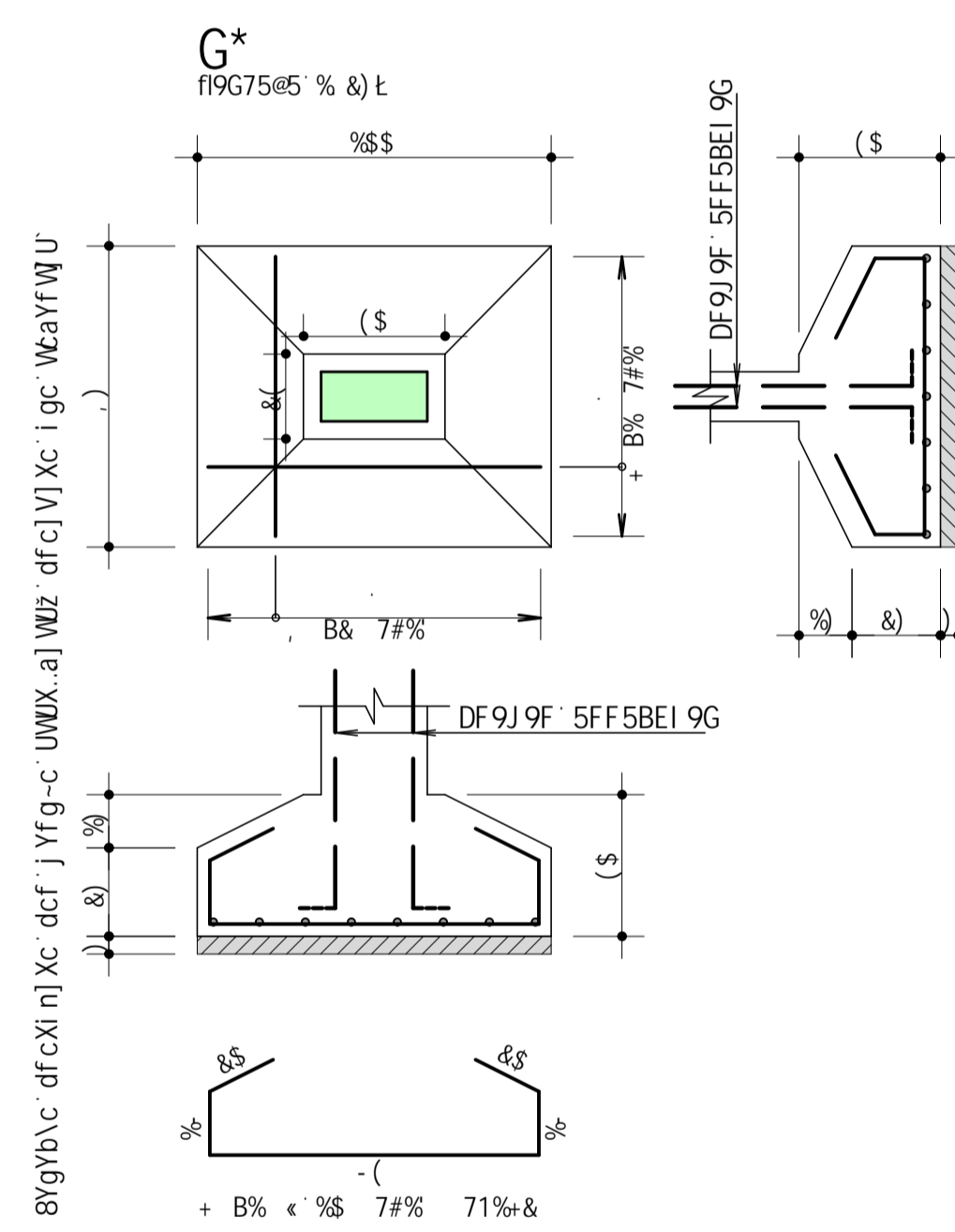
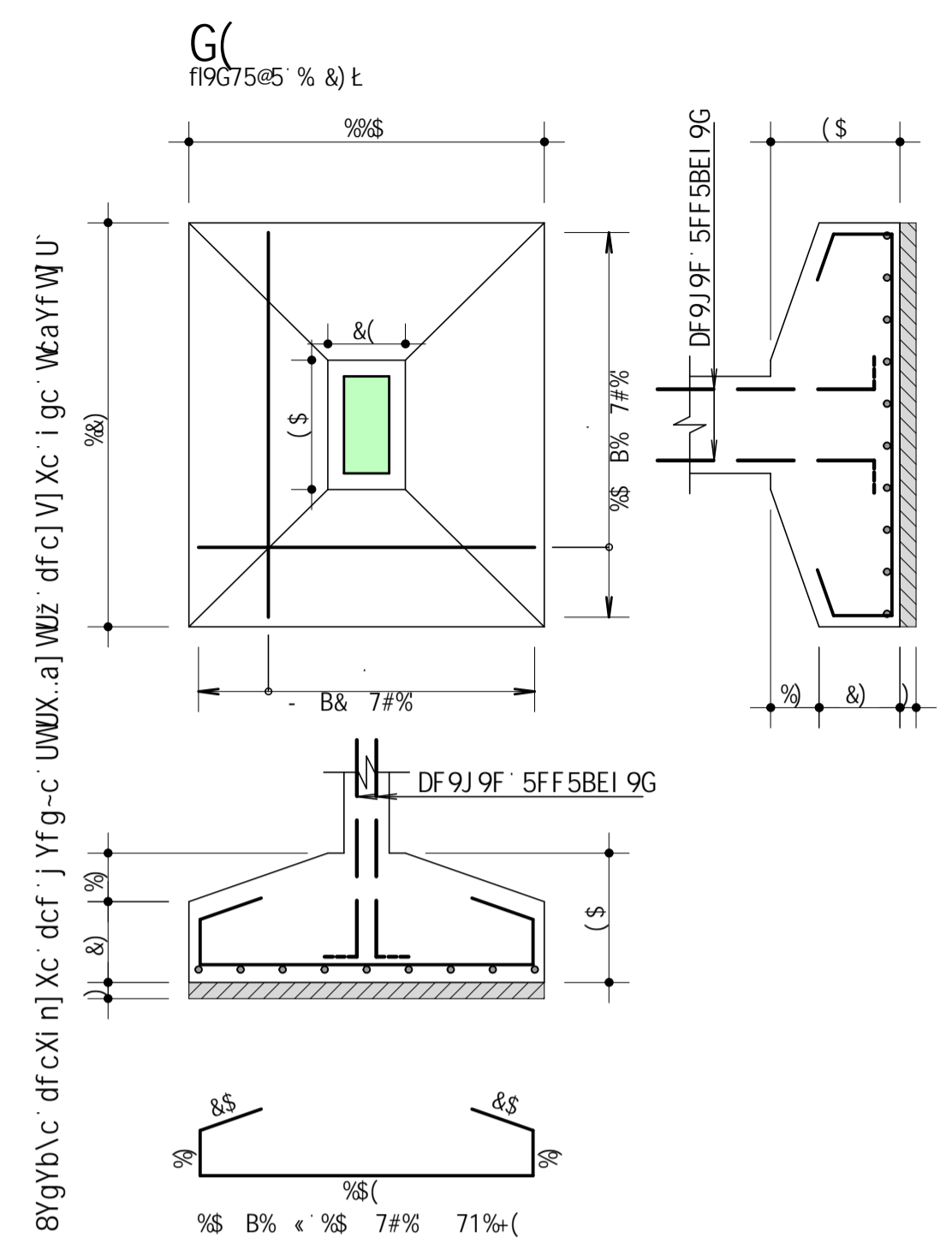
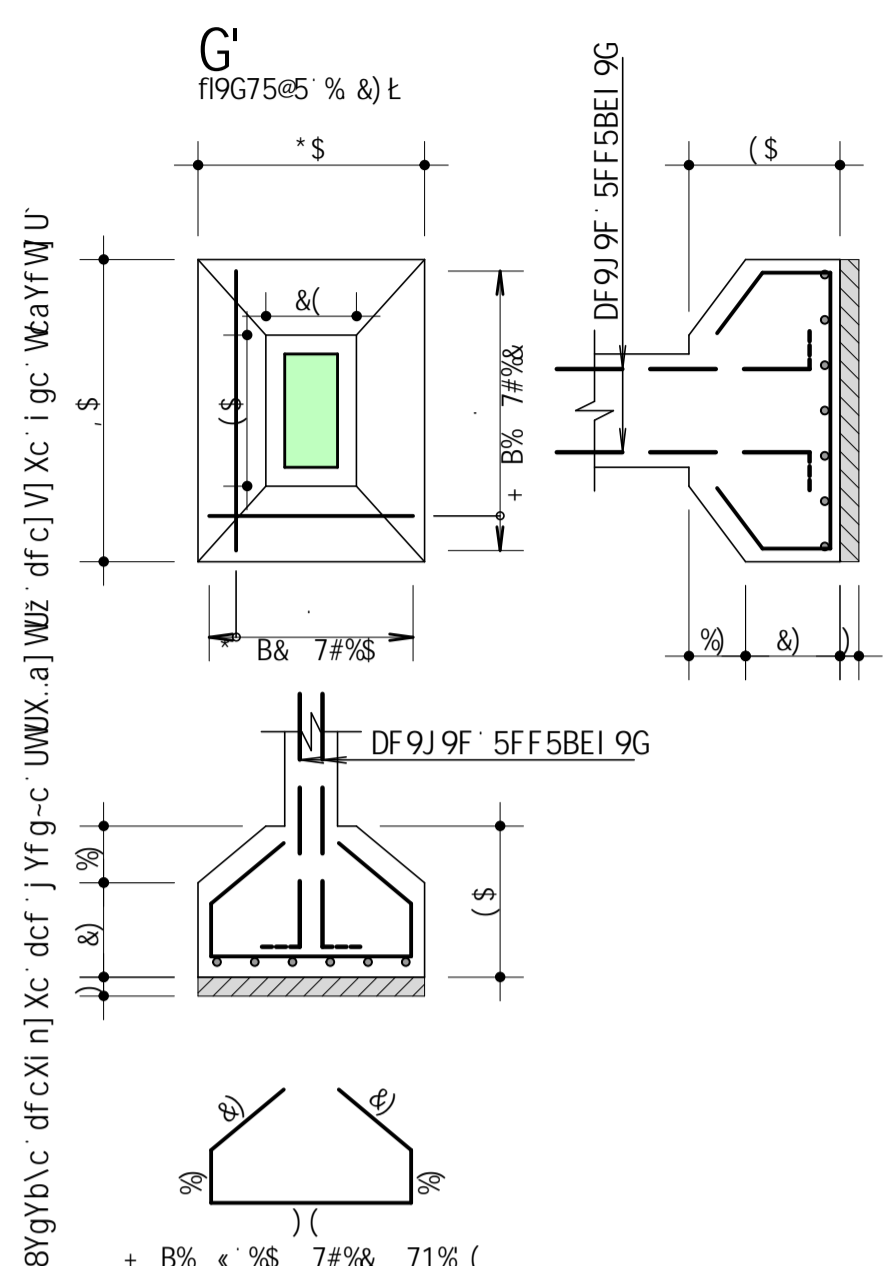
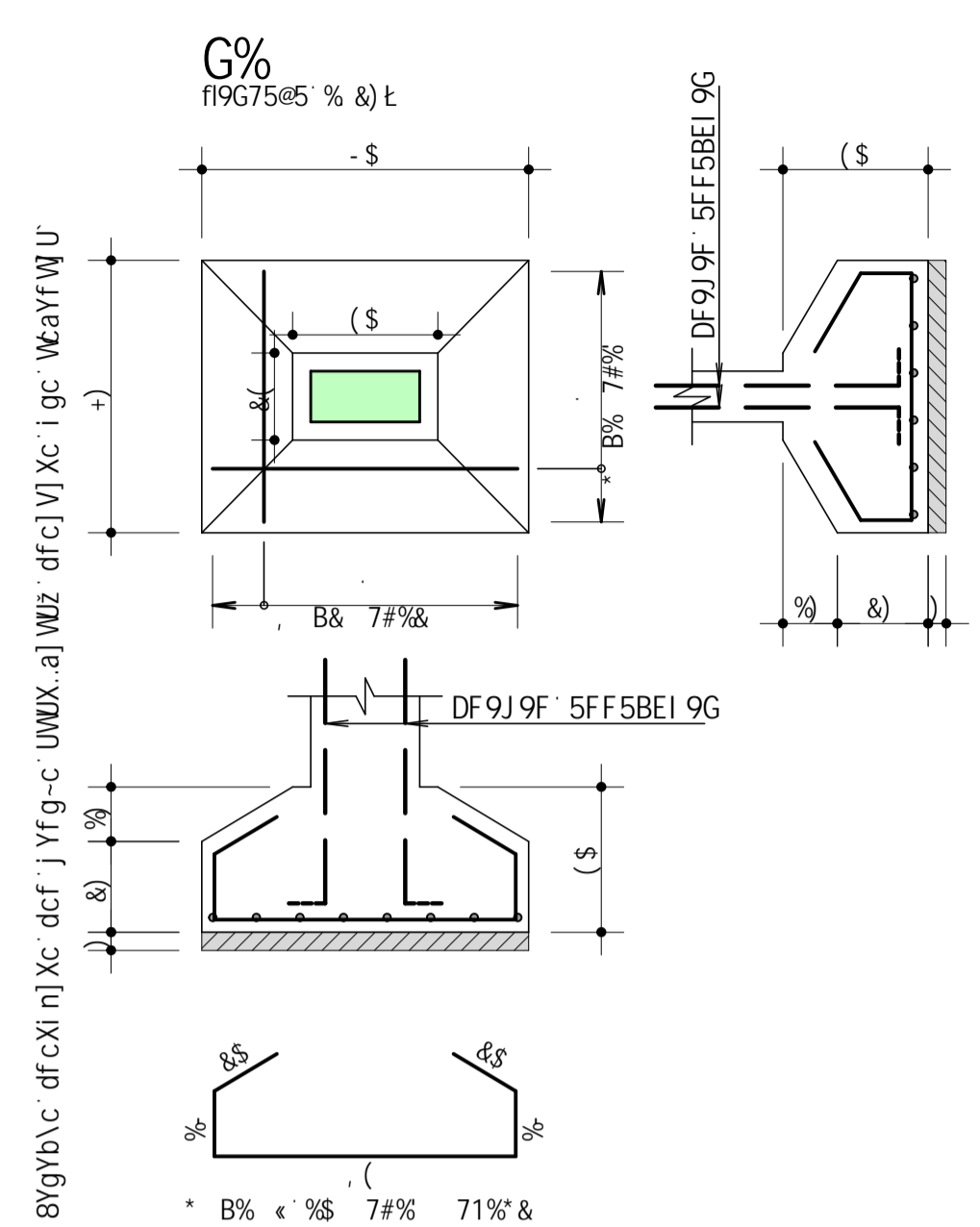


8YgYb\c·dfcXi n] Xc·dcf·j Yfg~c·UWX..a] WUz·dfc] V] Xc·i gc·WcaYFw] U



SUC	DOG	6-H	ETSBH	7CAUF-A9BHC	7B-H	7C6B6
G&	aa					
G						
G						
G&						

SUC	6-H	7CAUF	DOG
aa			12
			63%
			78%
DYgc HERU	SS 1		98% (12



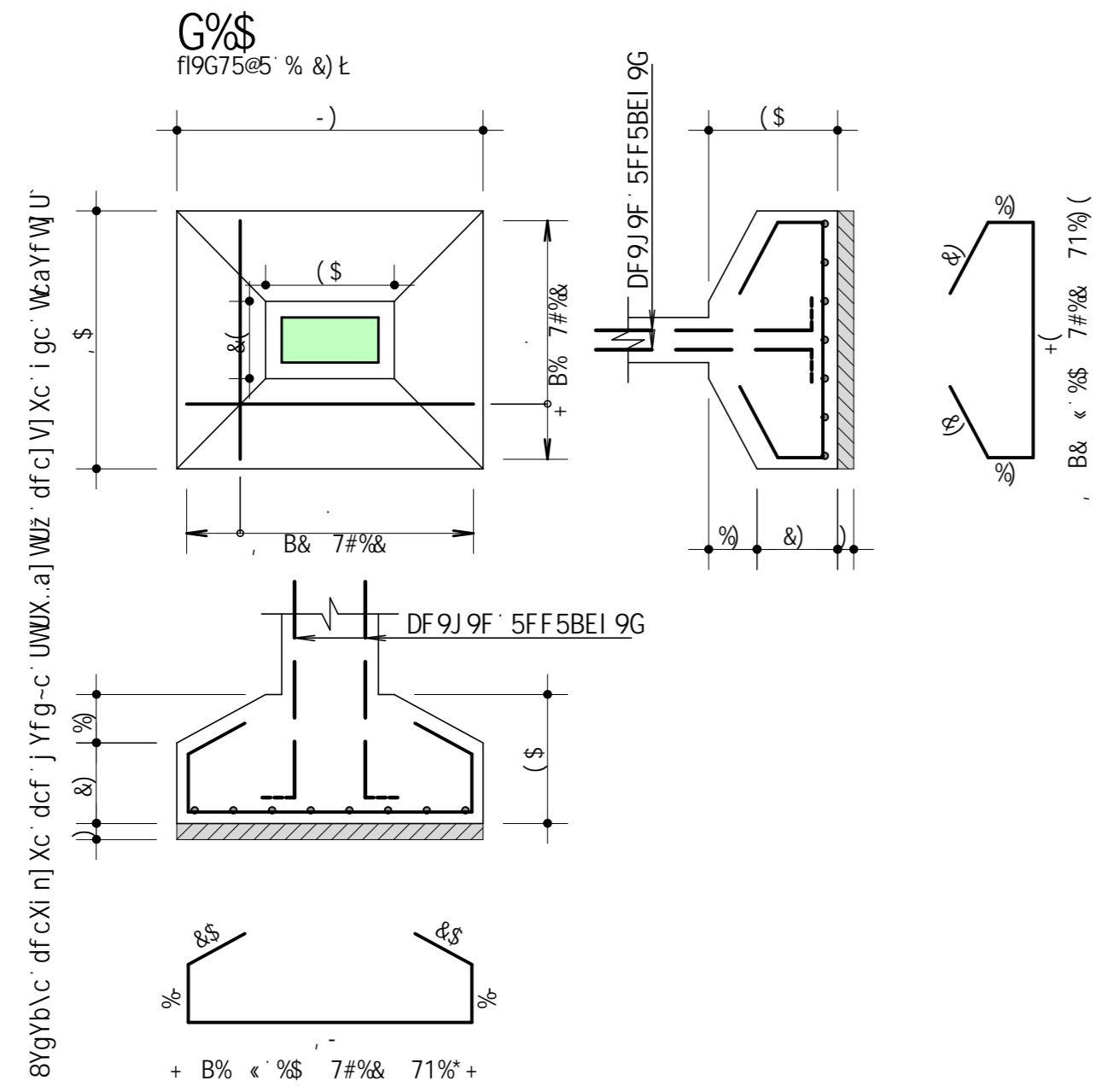
	5uC	DCG	6=H	EI 5BH	7CADF=A9BHC	HCH5@
G%	55	55	55	55	55	55
G'	55	55	55	55	55	55
G	55	55	55	55	55	55
G*	55	55	55	55	55	55
G+	55	55	55	55	55	55
G-	55	55	55	55	55	55
G/%	55	55	55	55	55	55

F9GI AC B9 5uC			
5uC	6=H	7CADF	D9GC
55	55	55	55
DYgc HcuU	55 1		55 - [Z

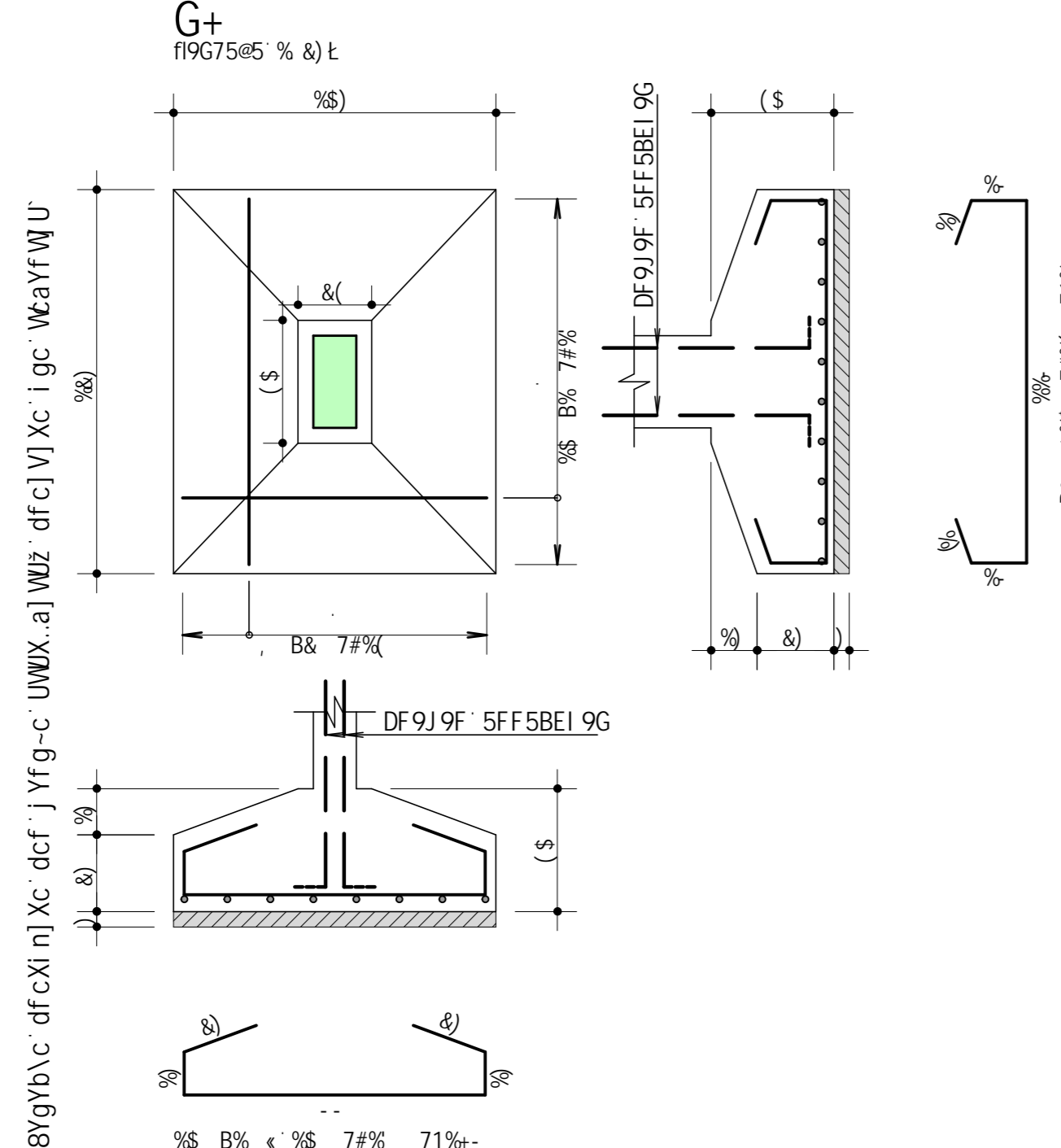
unipampa UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
 Universidade Federal do Pampa
 Campus Alegrete
 Avenida Triunfante, 810

TCBTE94C
 ZWL 1 &) ADU
 5758AA-75
ANDRESSA DURLO
 COPS
TCC II
 S-H-4C
Sapatas excêntricas de divisa
Detalhamento das sapatas centrais
 S1 / S3 / S4 / S6 / S7 / S9 / S10
 89G B ° C
 2/2

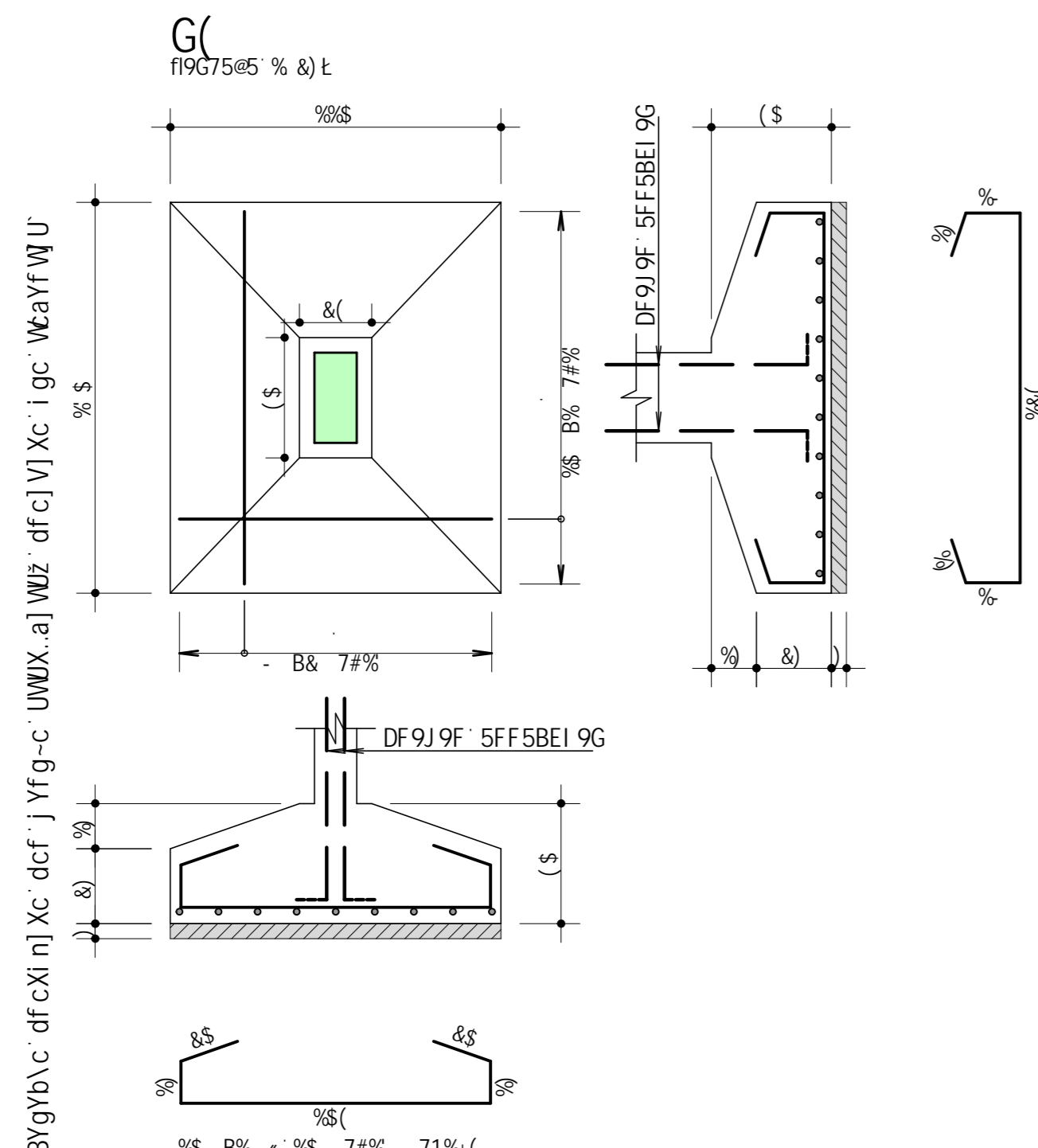
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



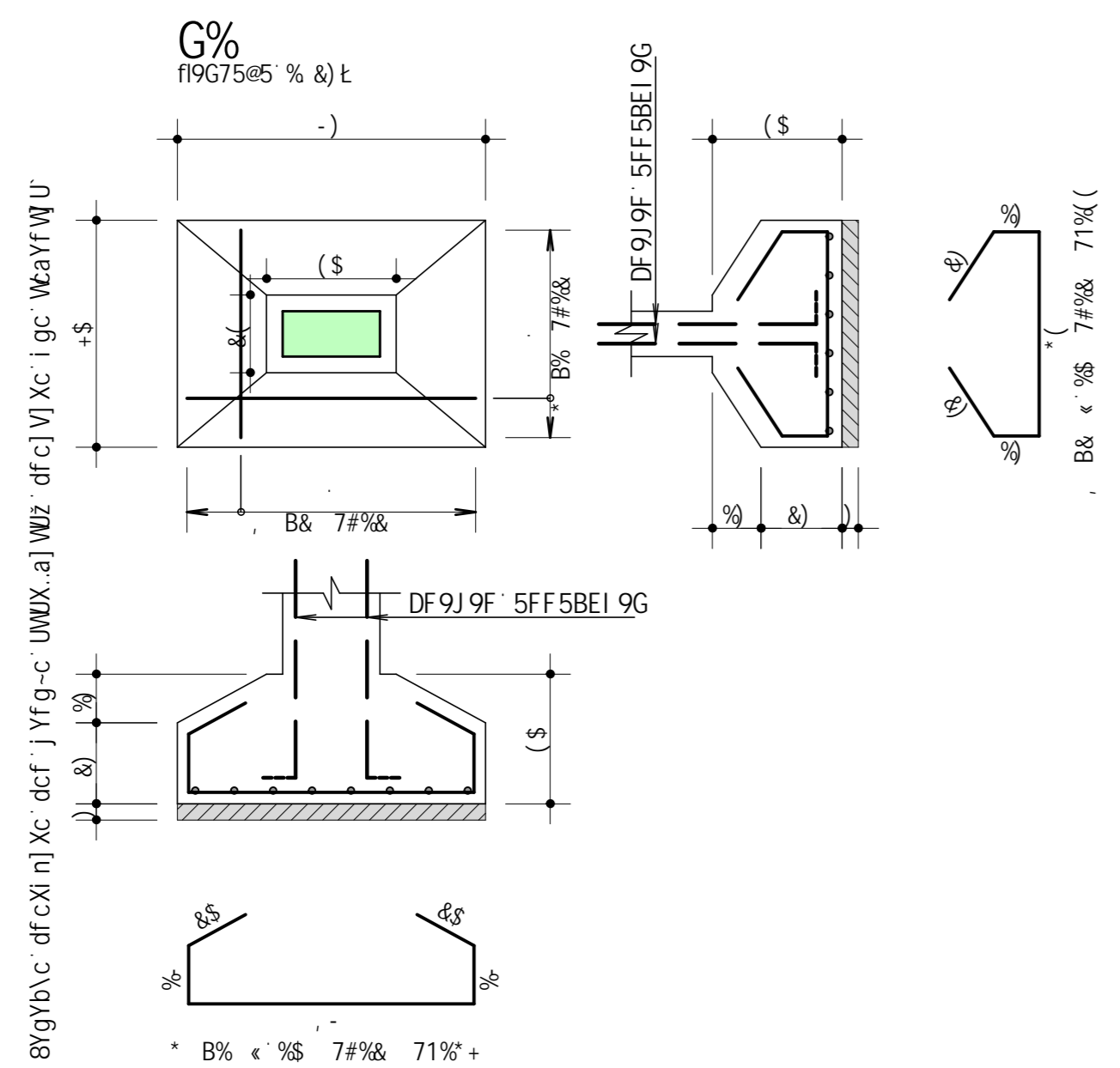
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



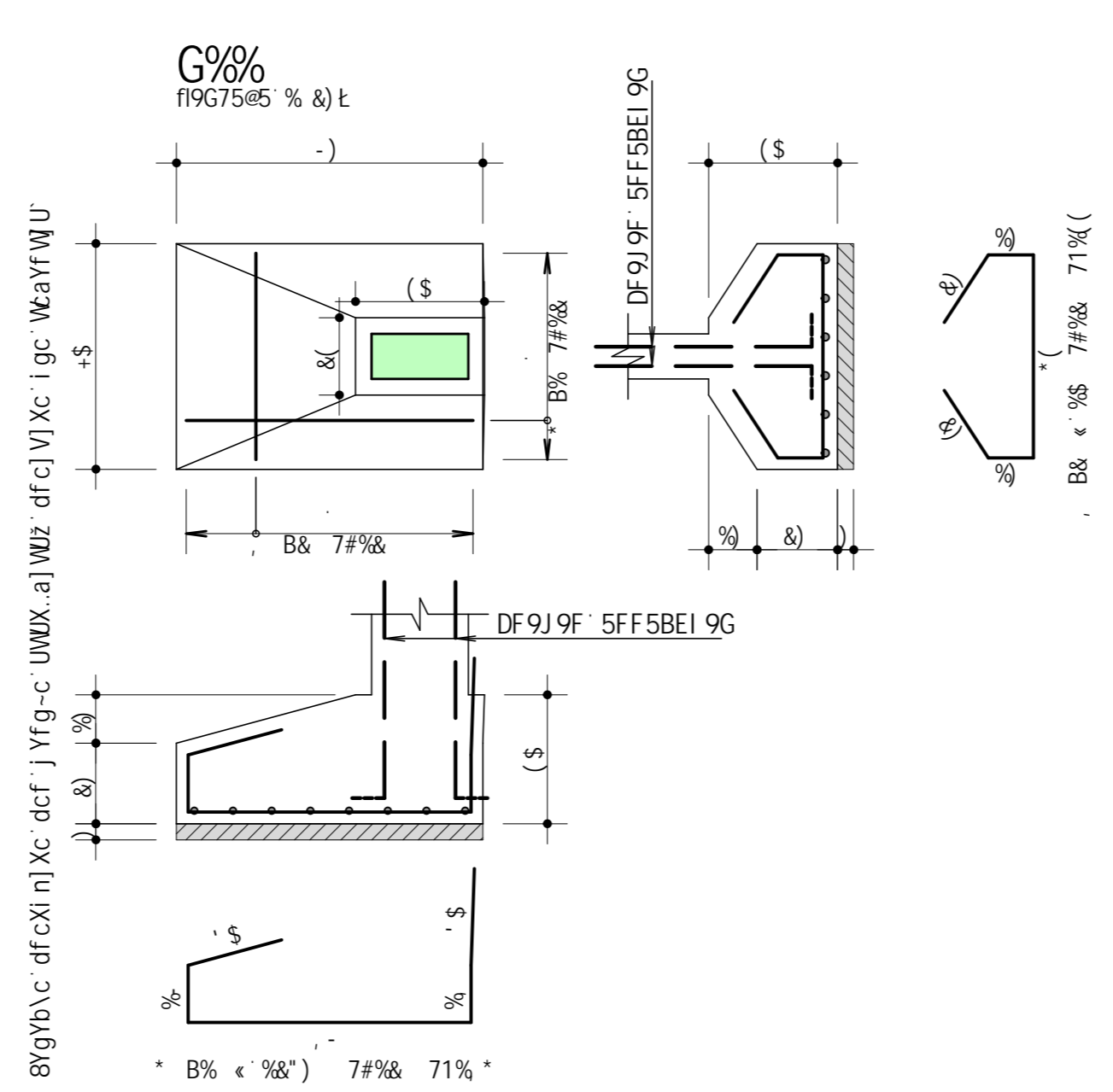
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



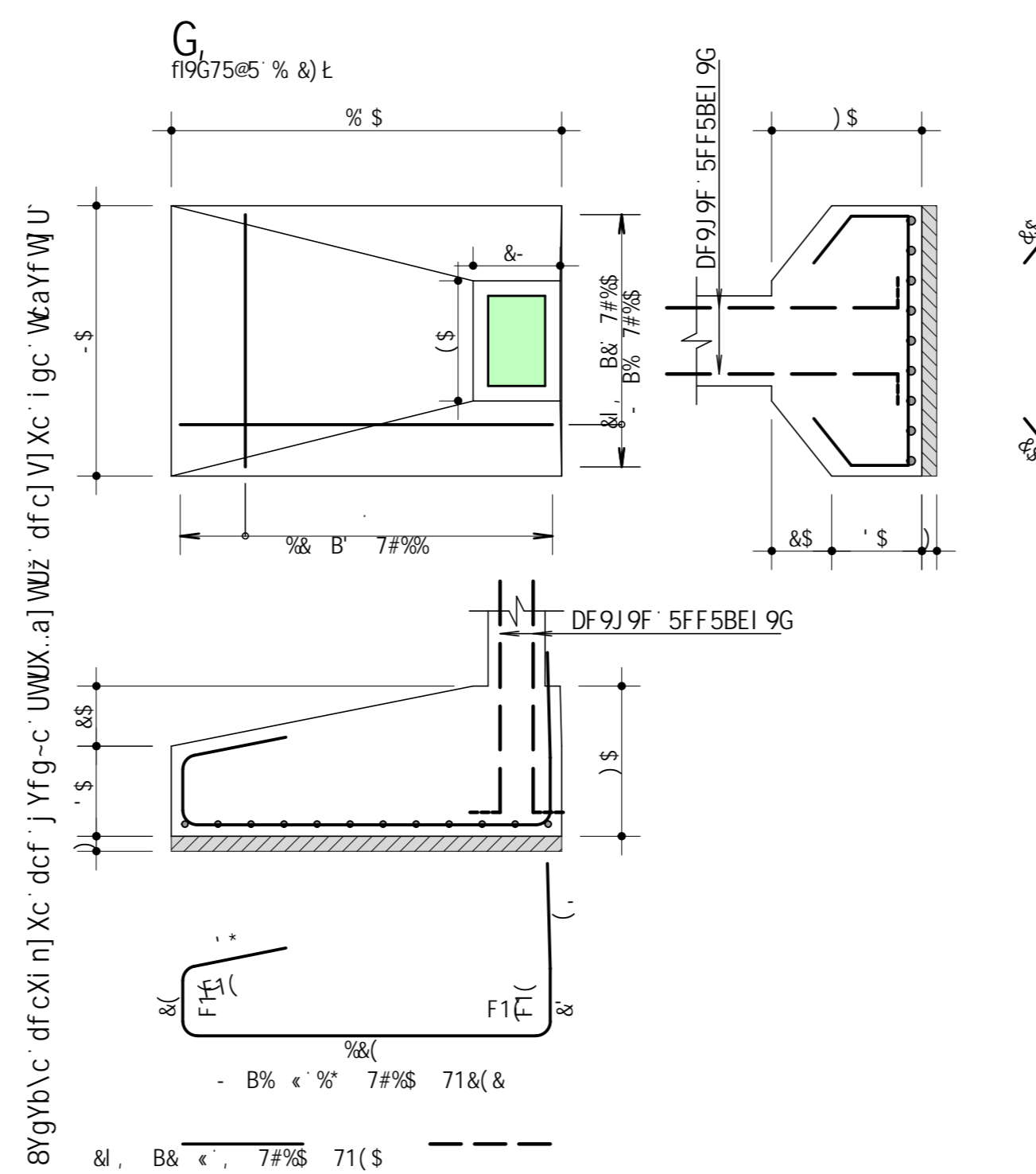
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



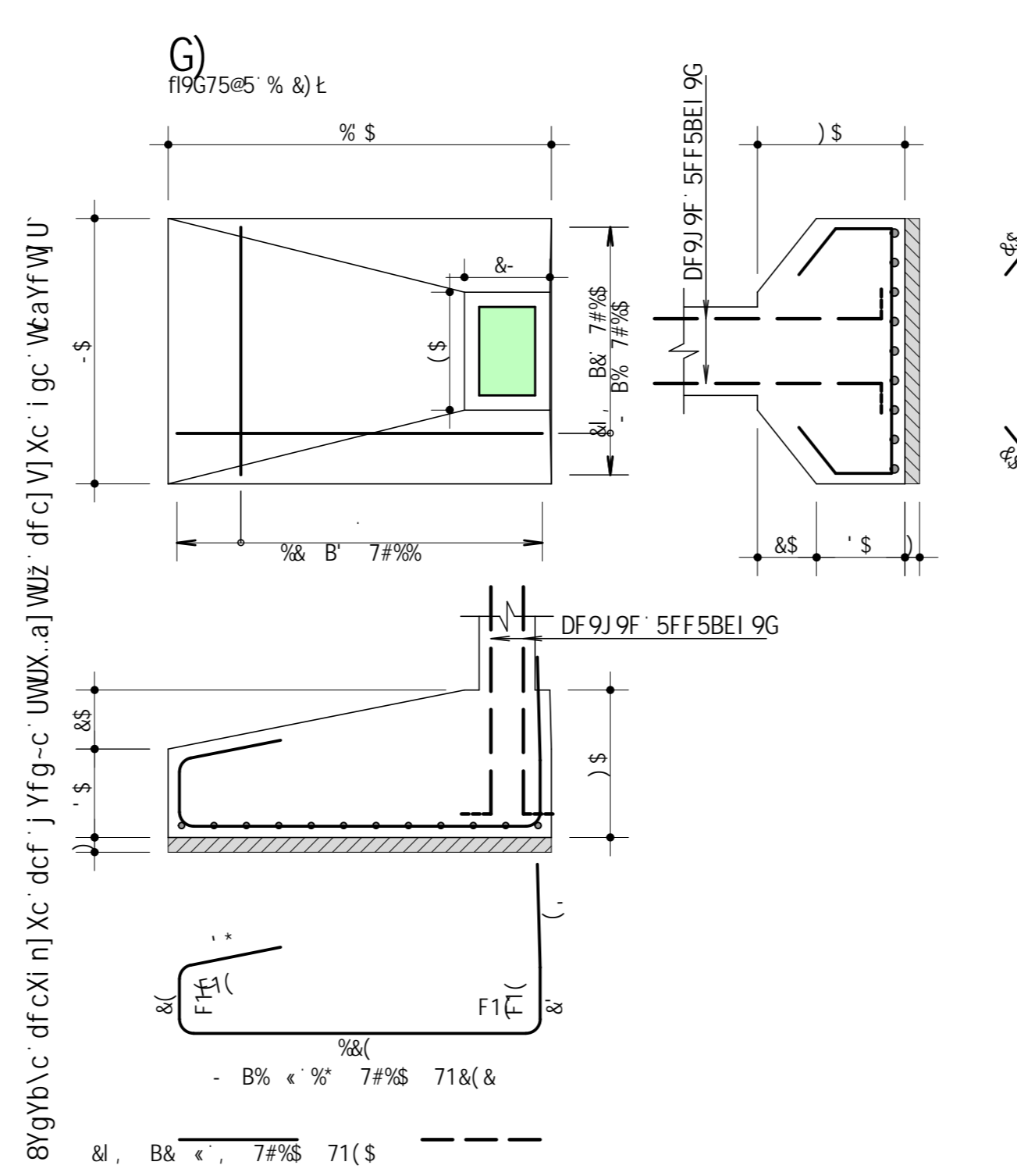
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



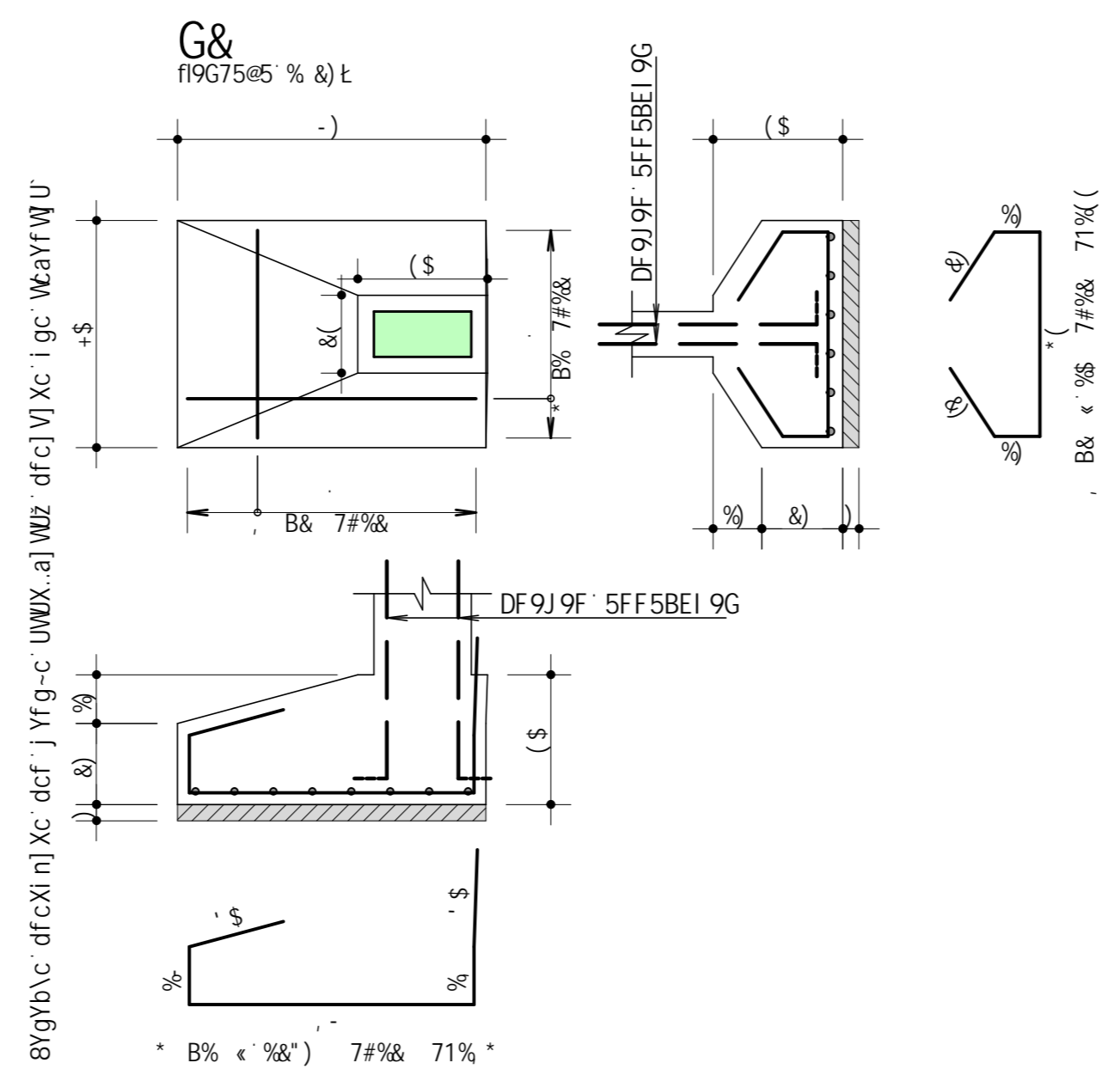
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



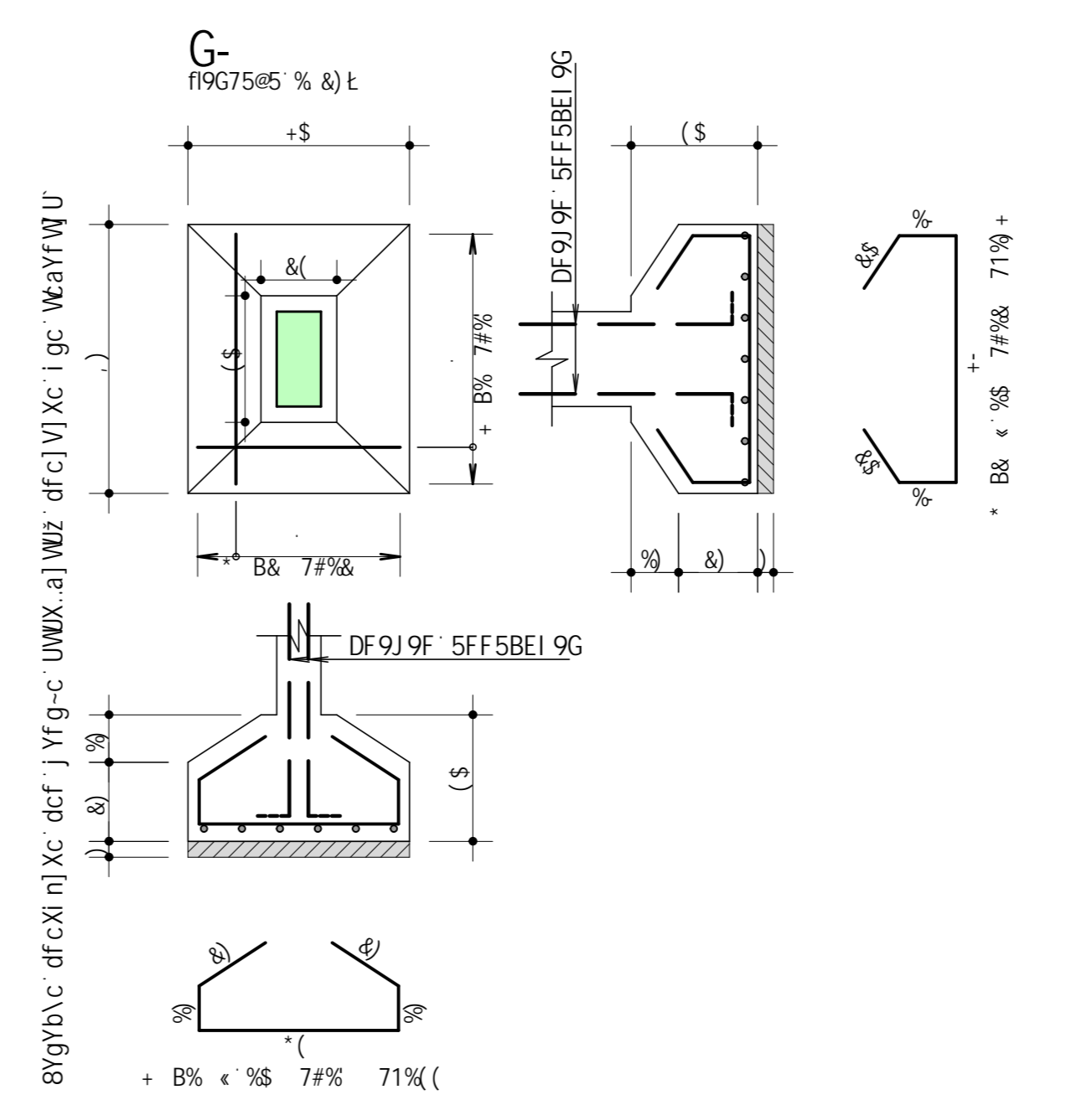
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



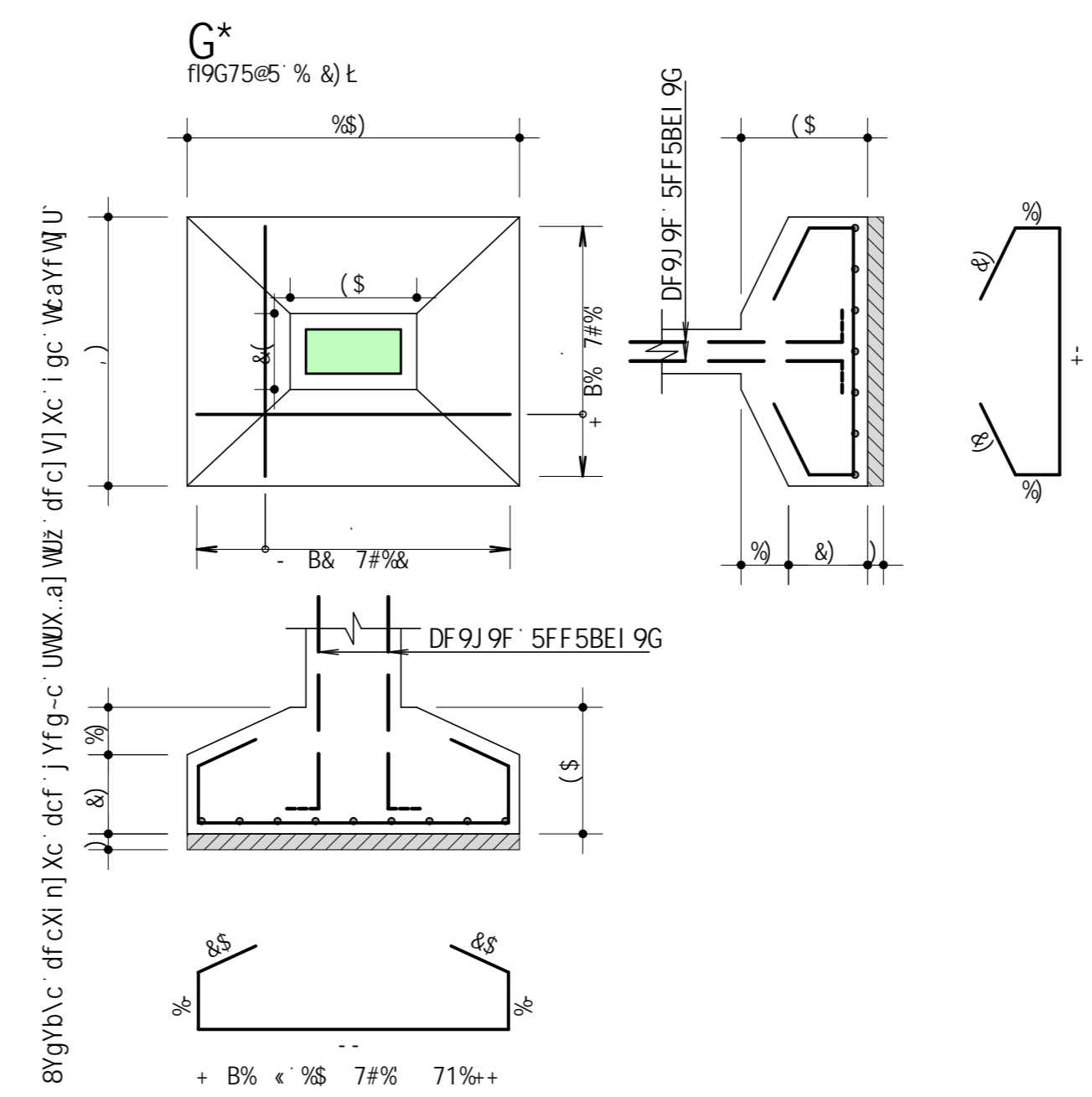
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



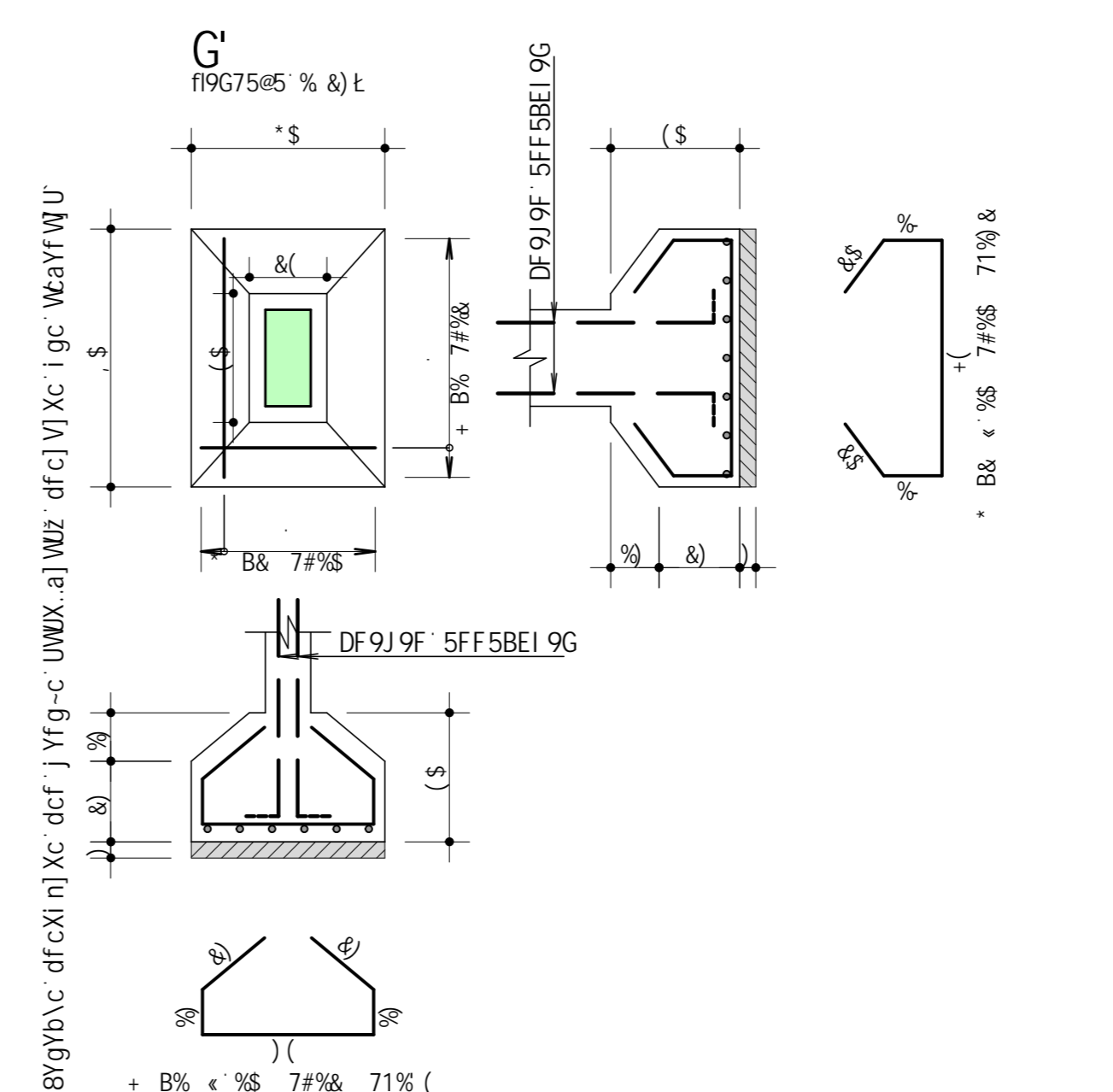
9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F



9GHI 8C' ! · BÈC' 9L97I H5F

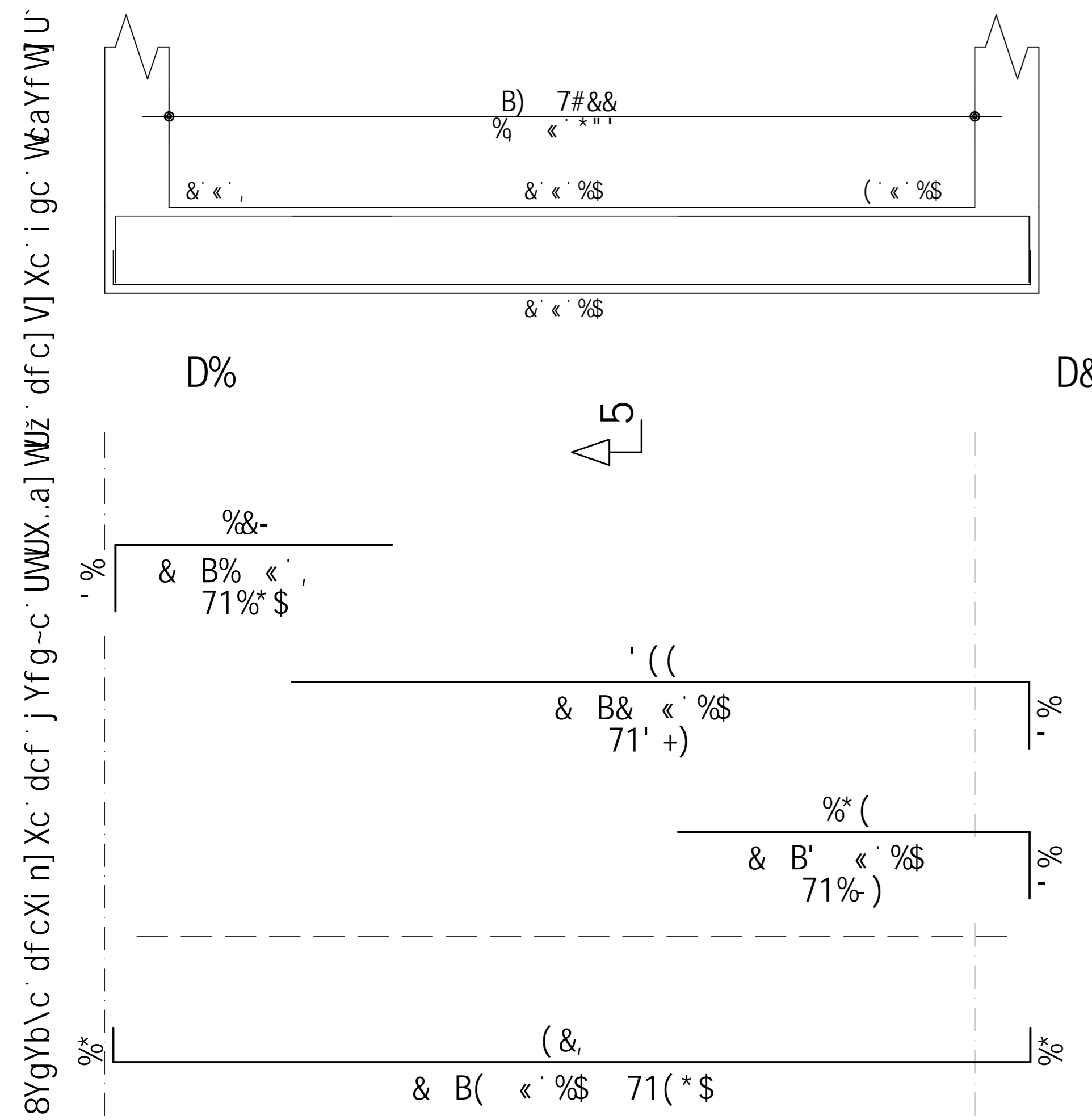


	5uC	DGC	6-H	ET 5BH	7CADF-9BHC	8BHC
0%	135	135	135	135	135	135
G0	135	135	135	135	135	135
G1	135	135	135	135	135	135
G2	135	135	135	135	135	135
G3	135	135	135	135	135	135
G4	135	135	135	135	135	135
G5	135	135	135	135	135	135
G6	135	135	135	135	135	135
G7	135	135	135	135	135	135
G8	135	135	135	135	135	135
G9	135	135	135	135	135	135
G10	135	135	135	135	135	135

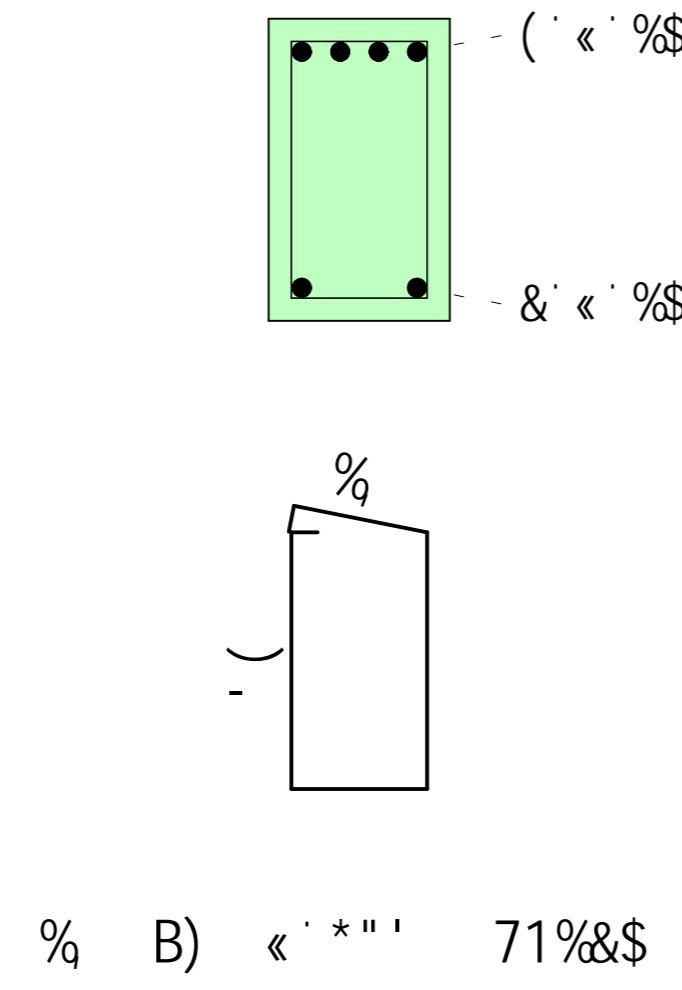
	5uC	6-H	7CADF	DGC
0%	135	135	135	135
G0	135	135	135	135
G1	135	135	135	135
G2	135	135	135	135
G3	135	135	135	135
G4	135	135	135	135
G5	135	135	135	135
G6	135	135	135	135
G7	135	135	135	135
G8	135	135	135	135
G9	135	135	135	135
G10	135	135	135	135

9GHI 8C' i' BÈC' 9L97I H5F

J5' %

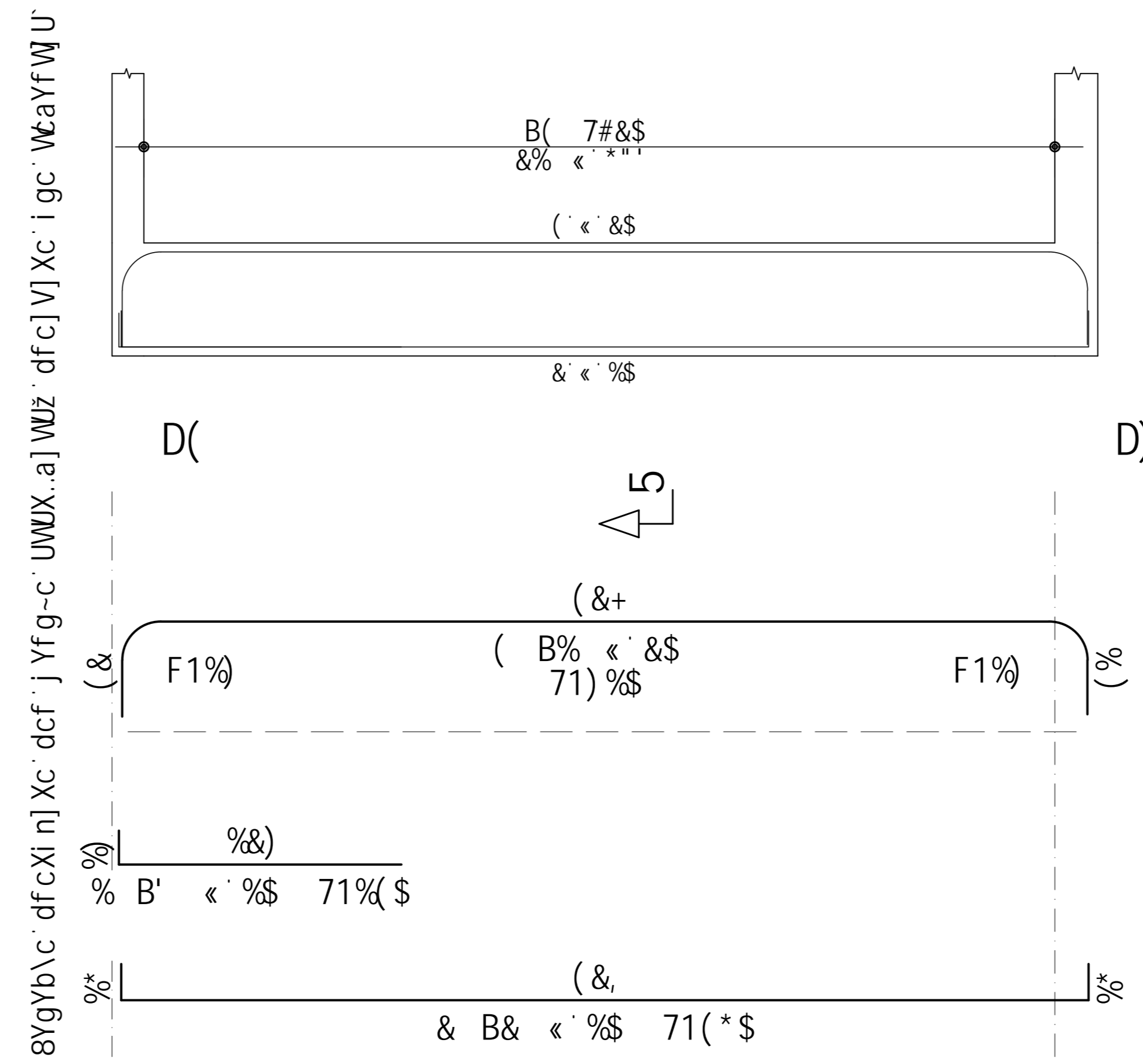


7cfhY' 5

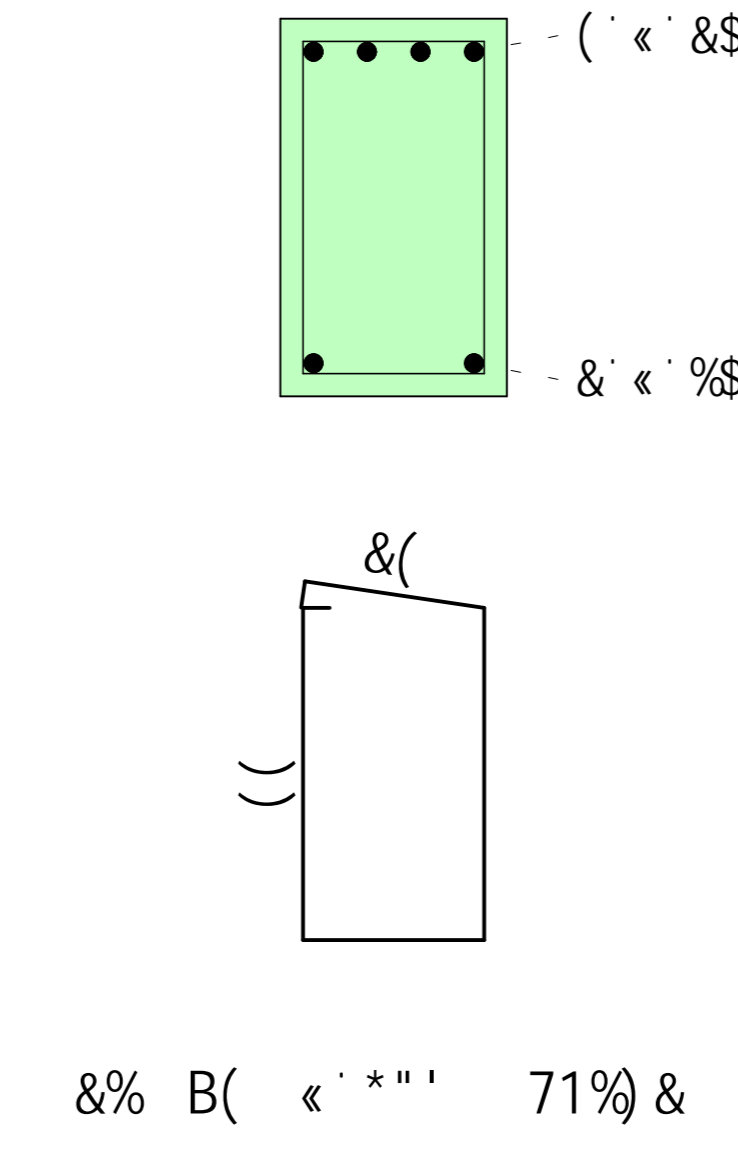


9GHI 8C' i' BÈC' 9L97I H5F

J5' &

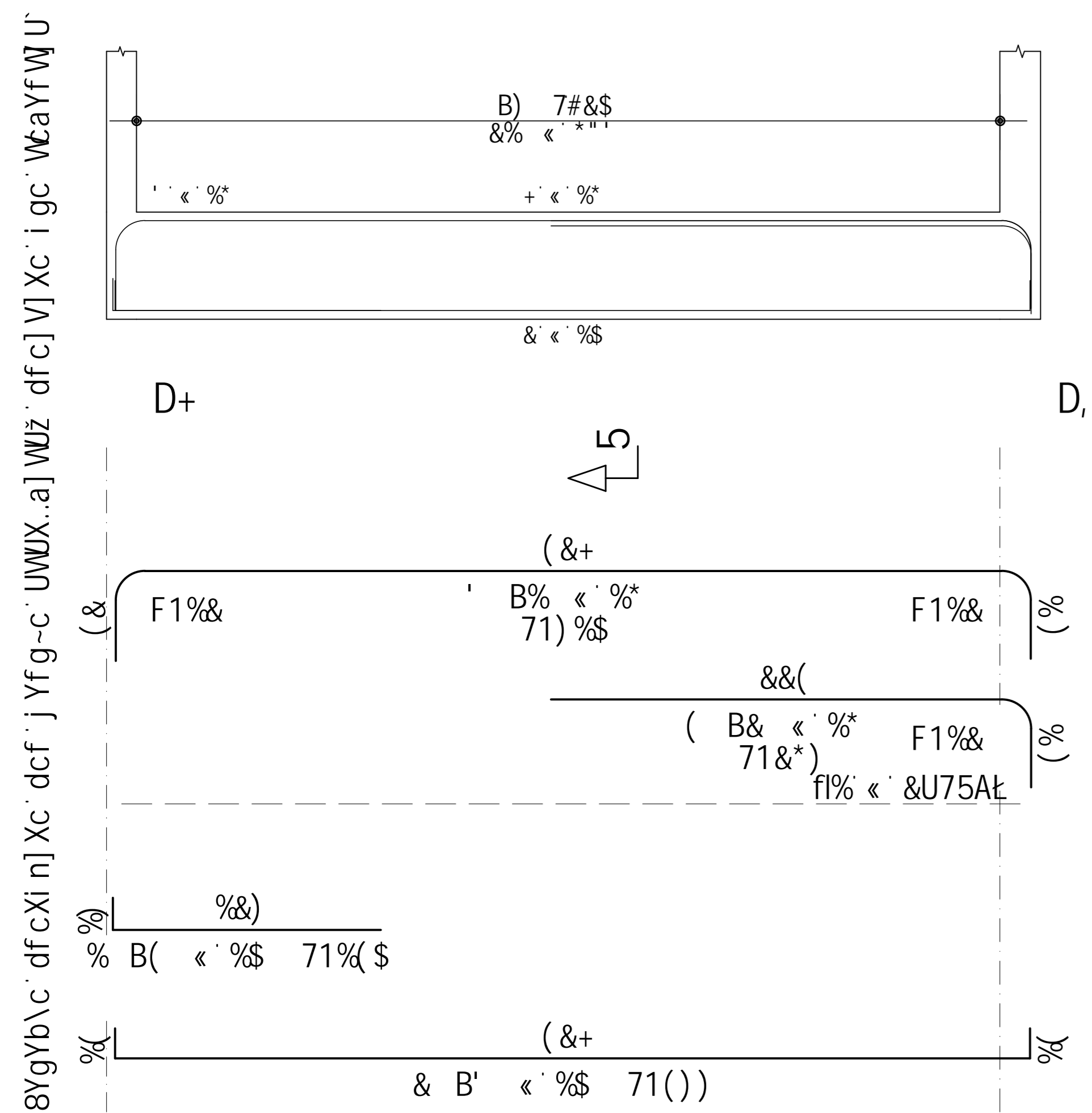


7cfhY' 5

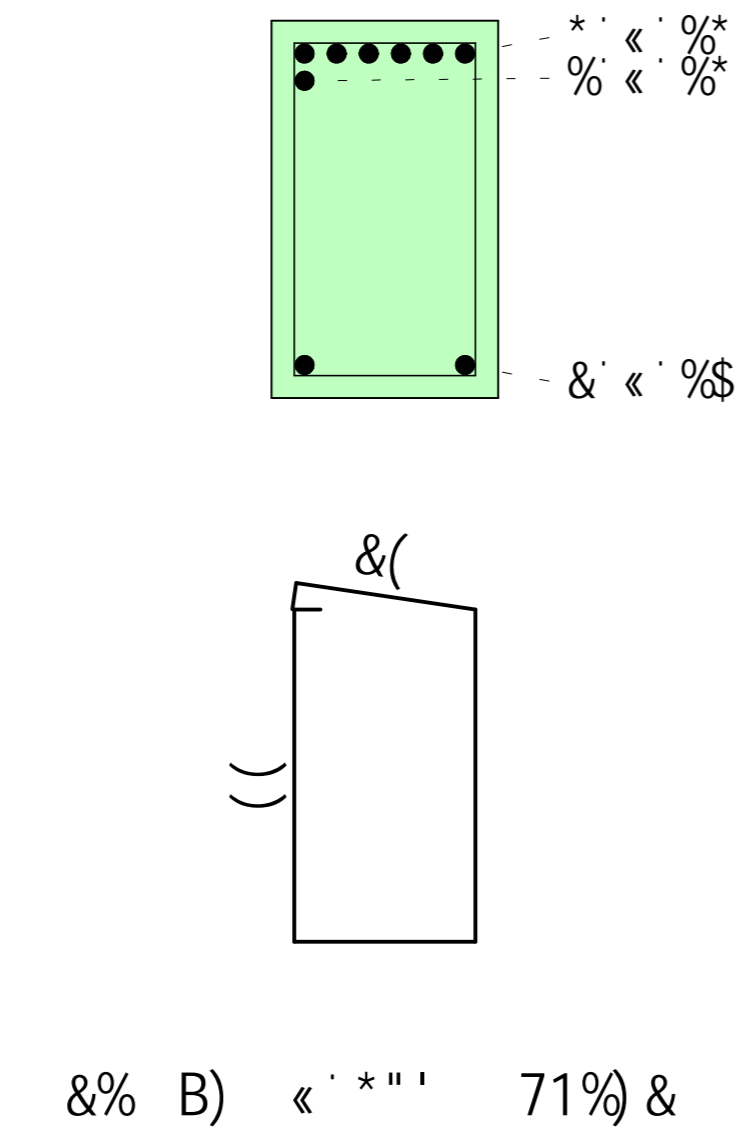


9GHI 8C' i' BÈC' 9L97I H5F

J5' '

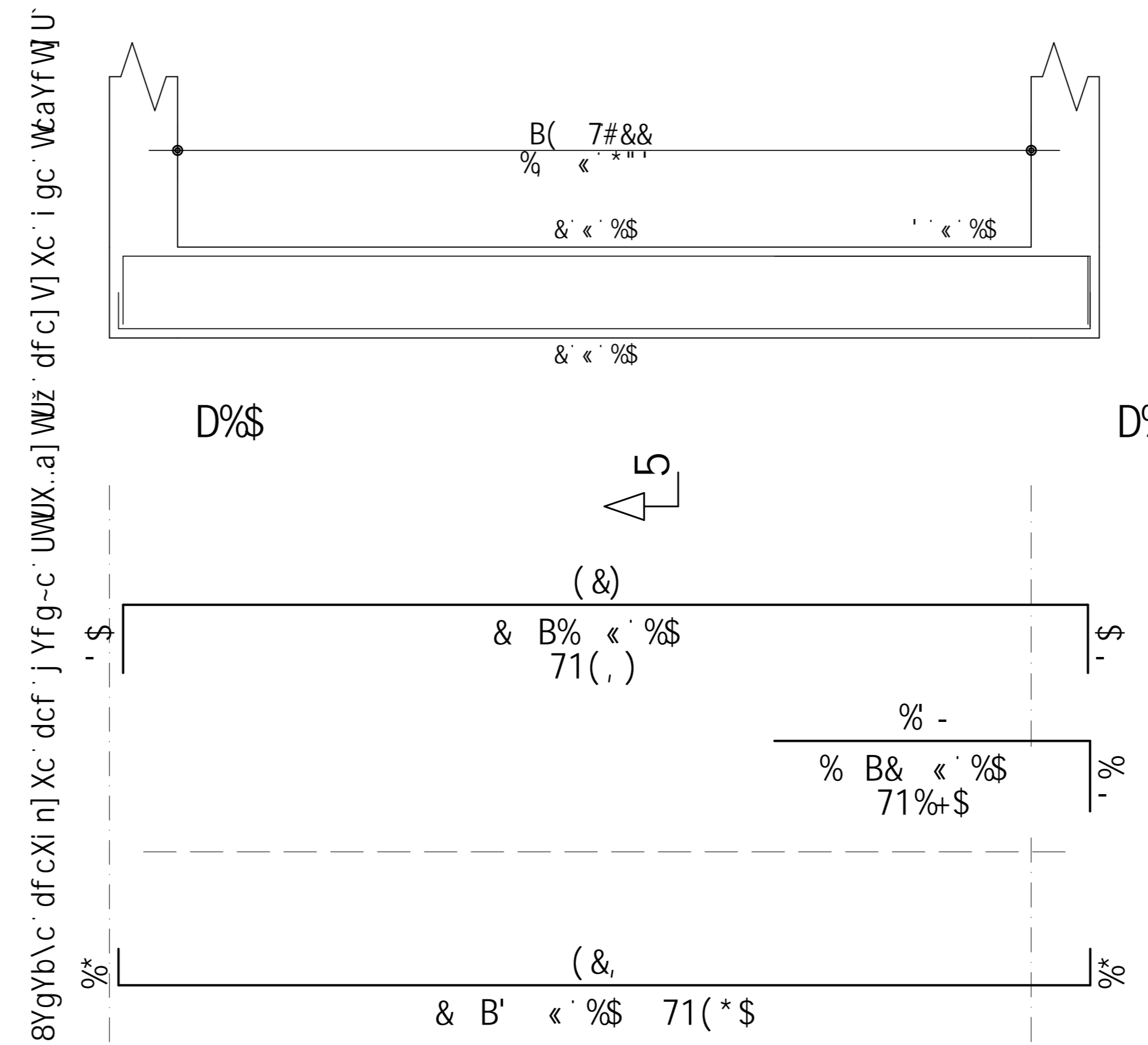


7cfhY' 5

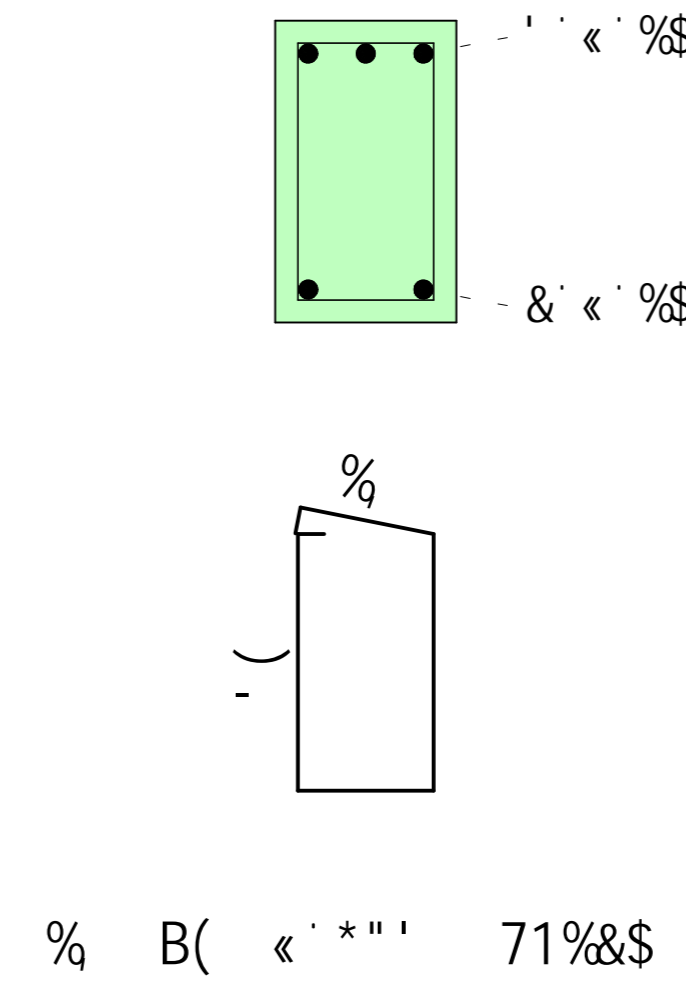


9GHI 8C' i' BÈC' 9L97I H5F

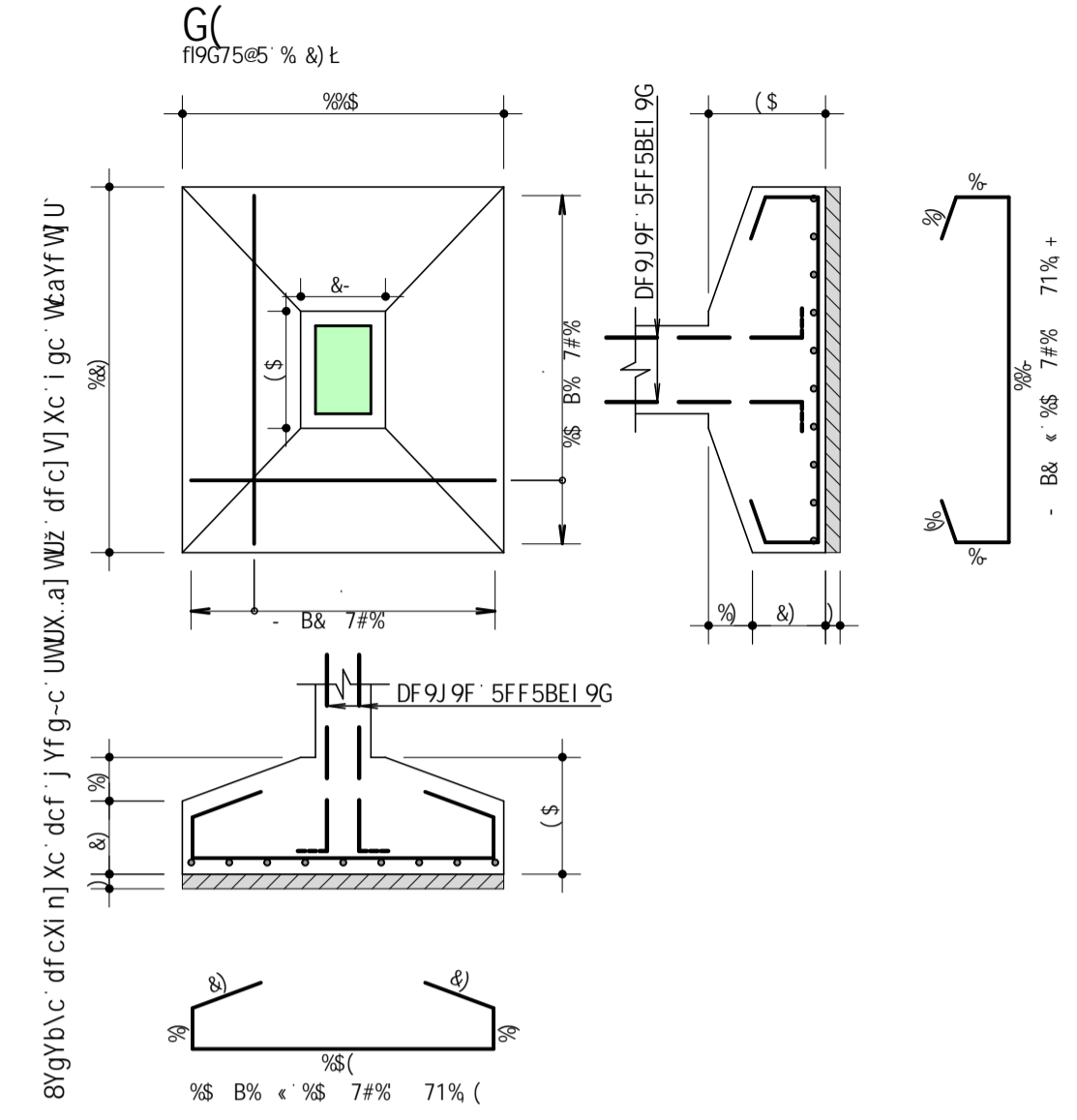
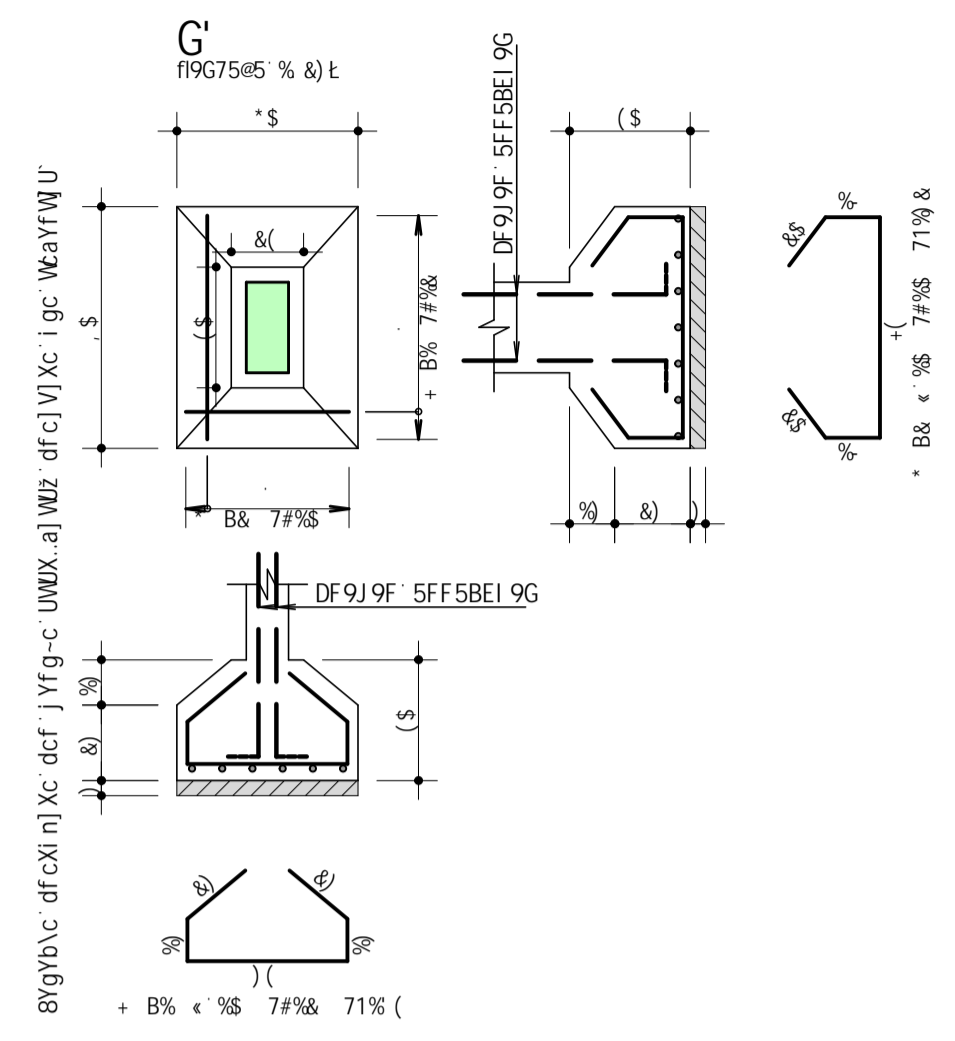
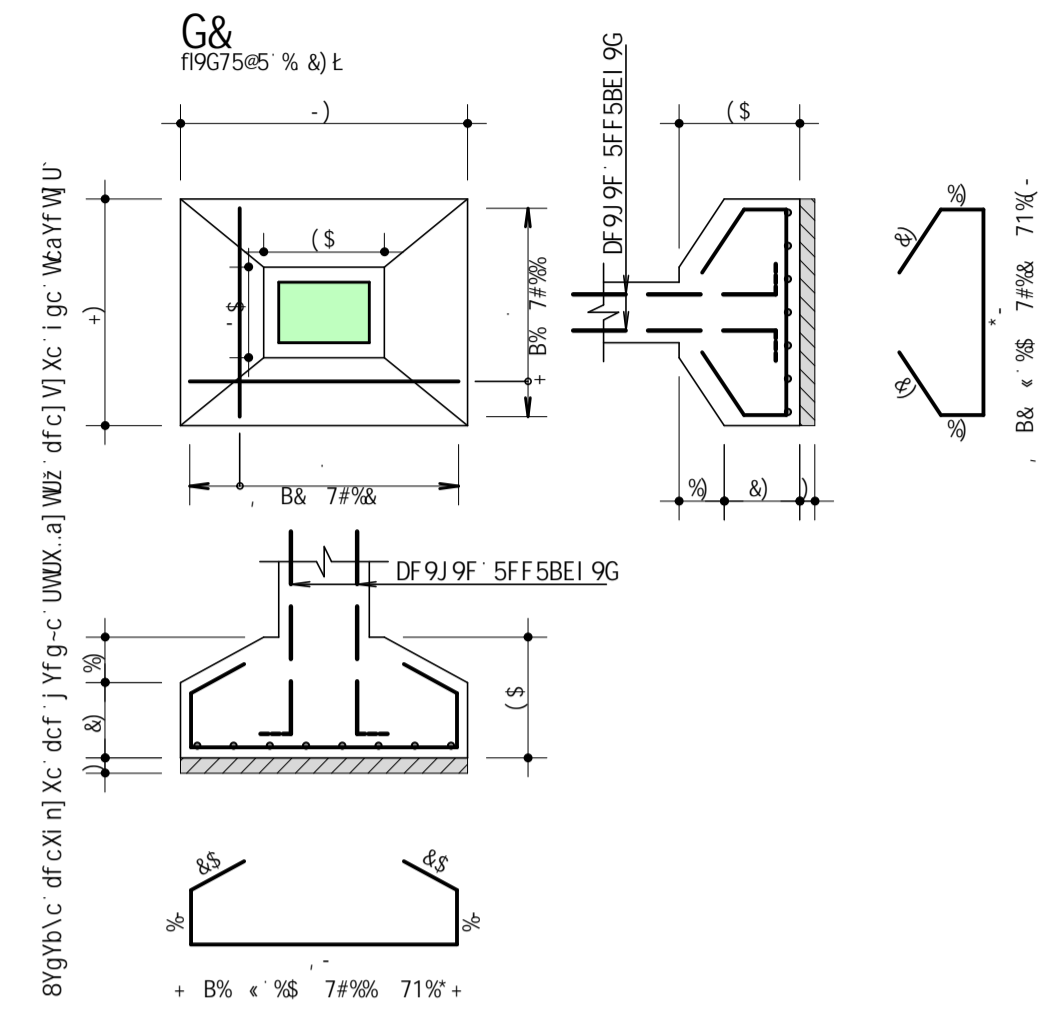
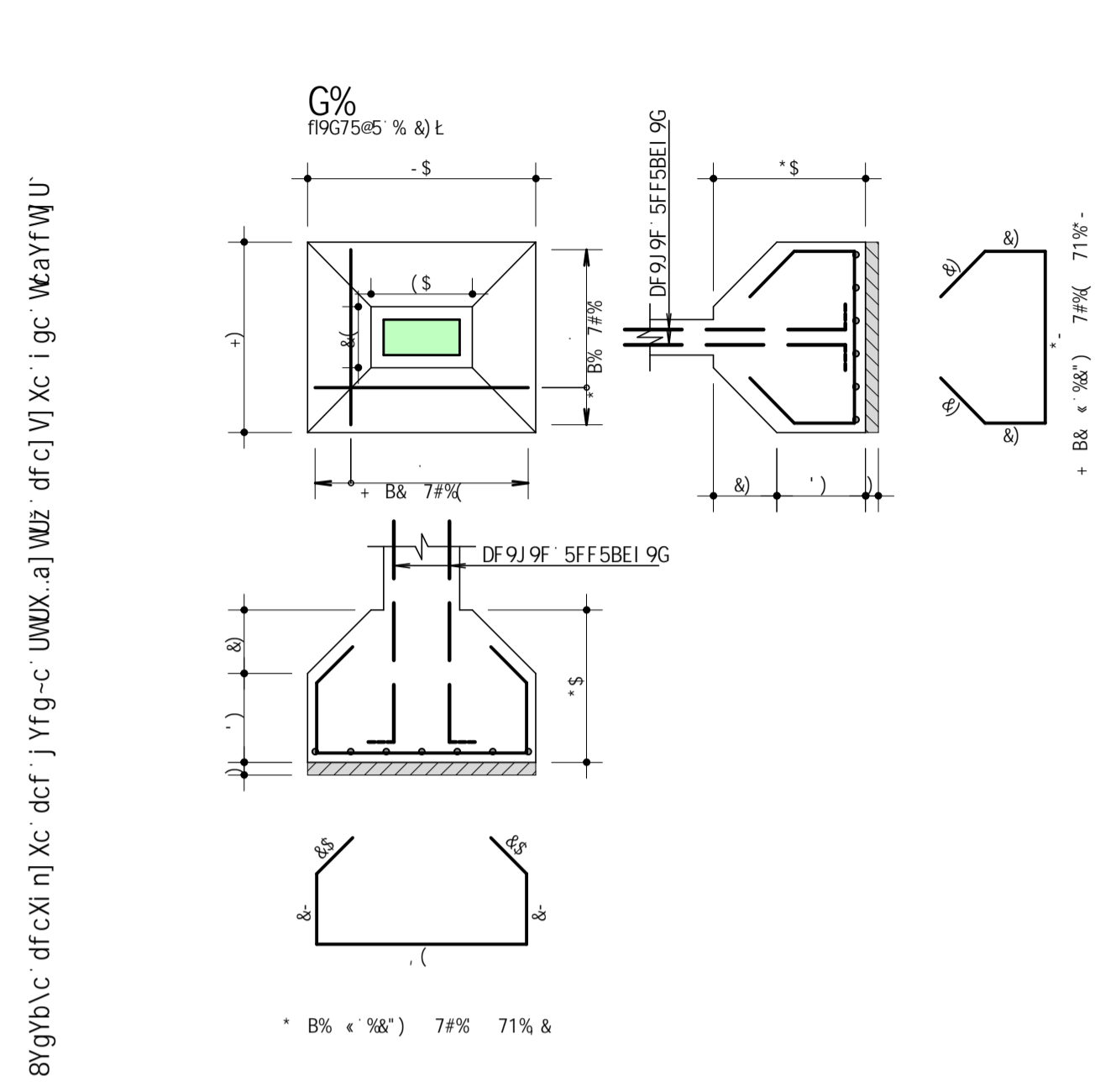
J5' (



7cfhY' 5

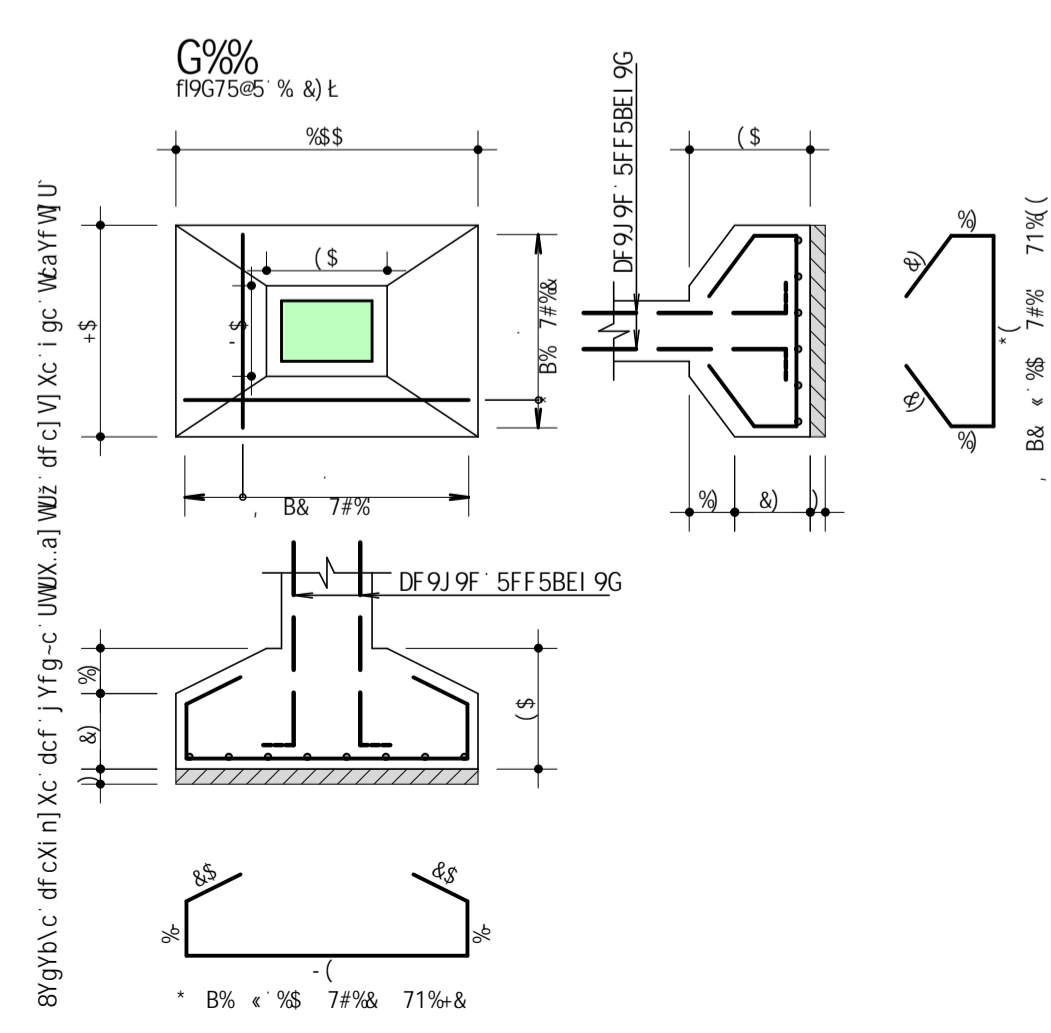
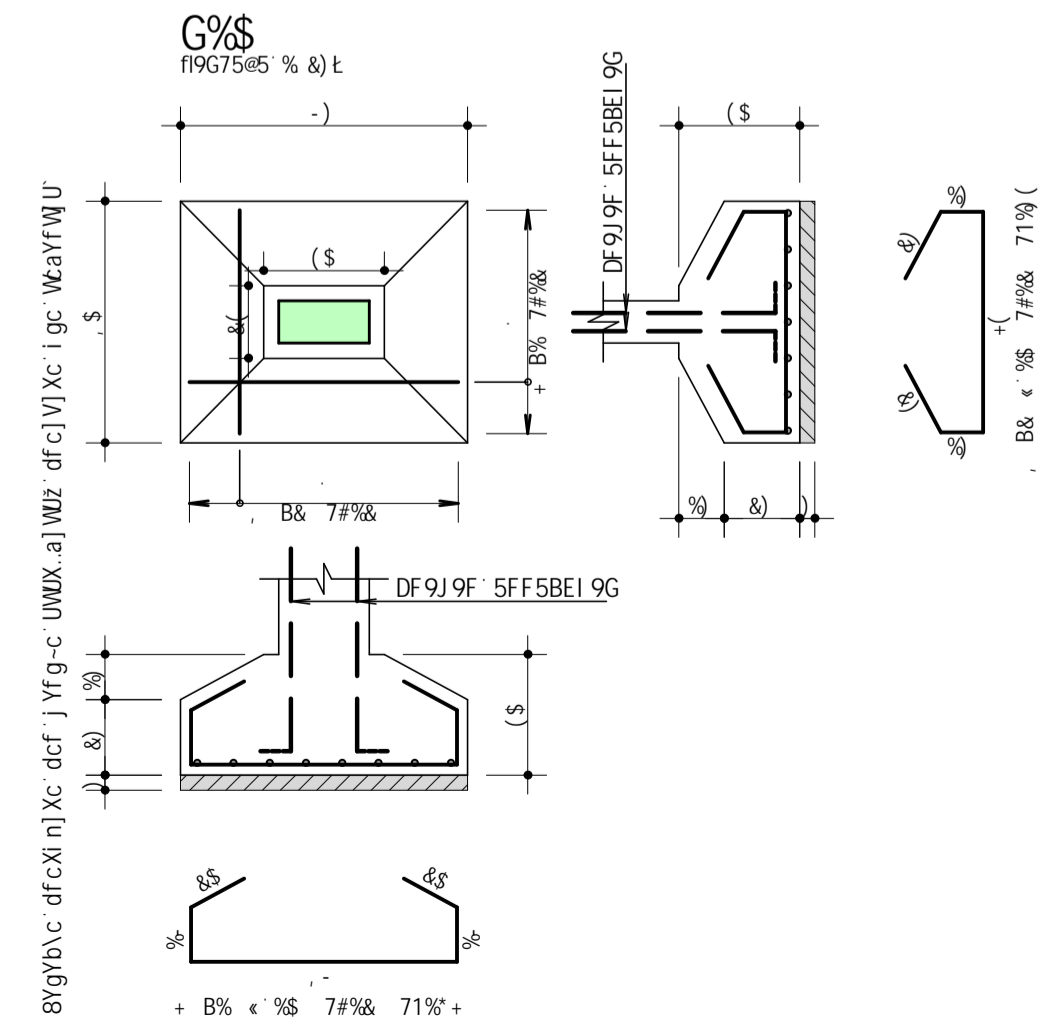
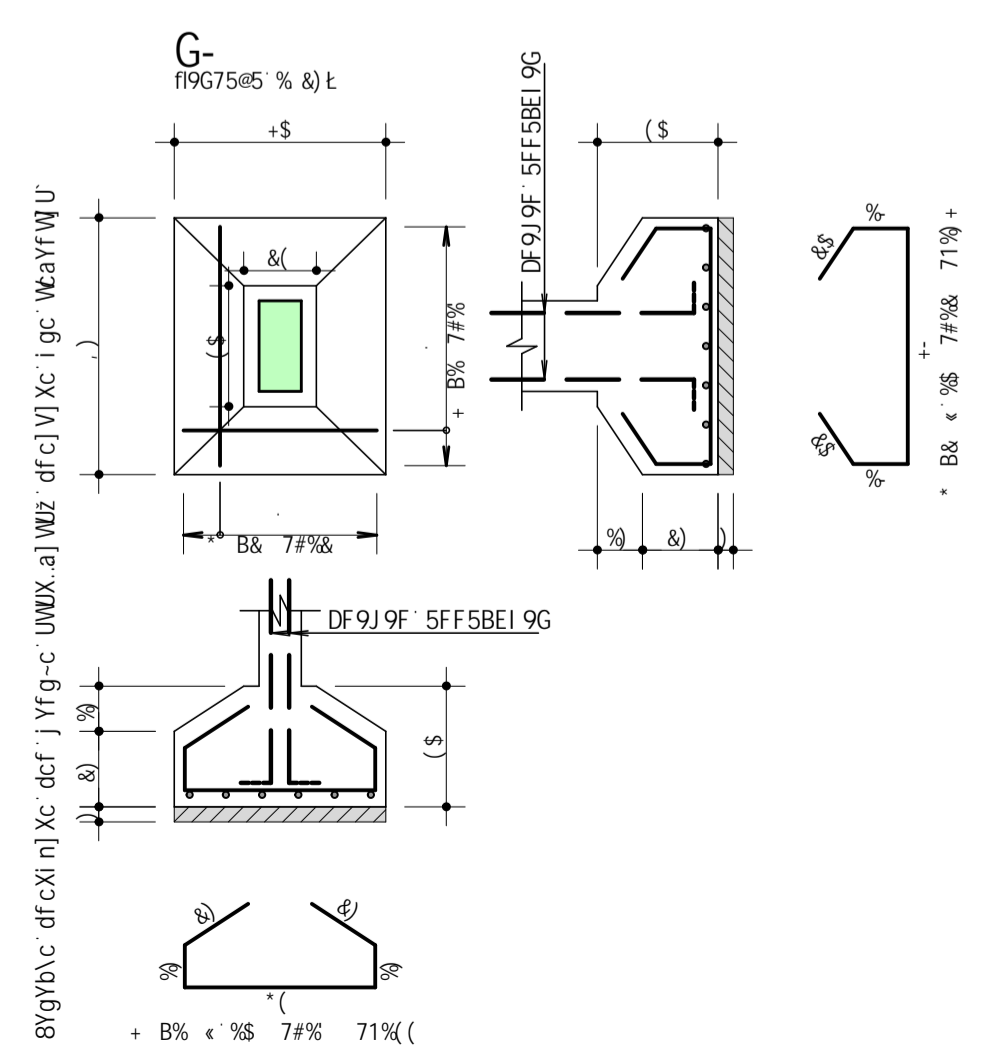
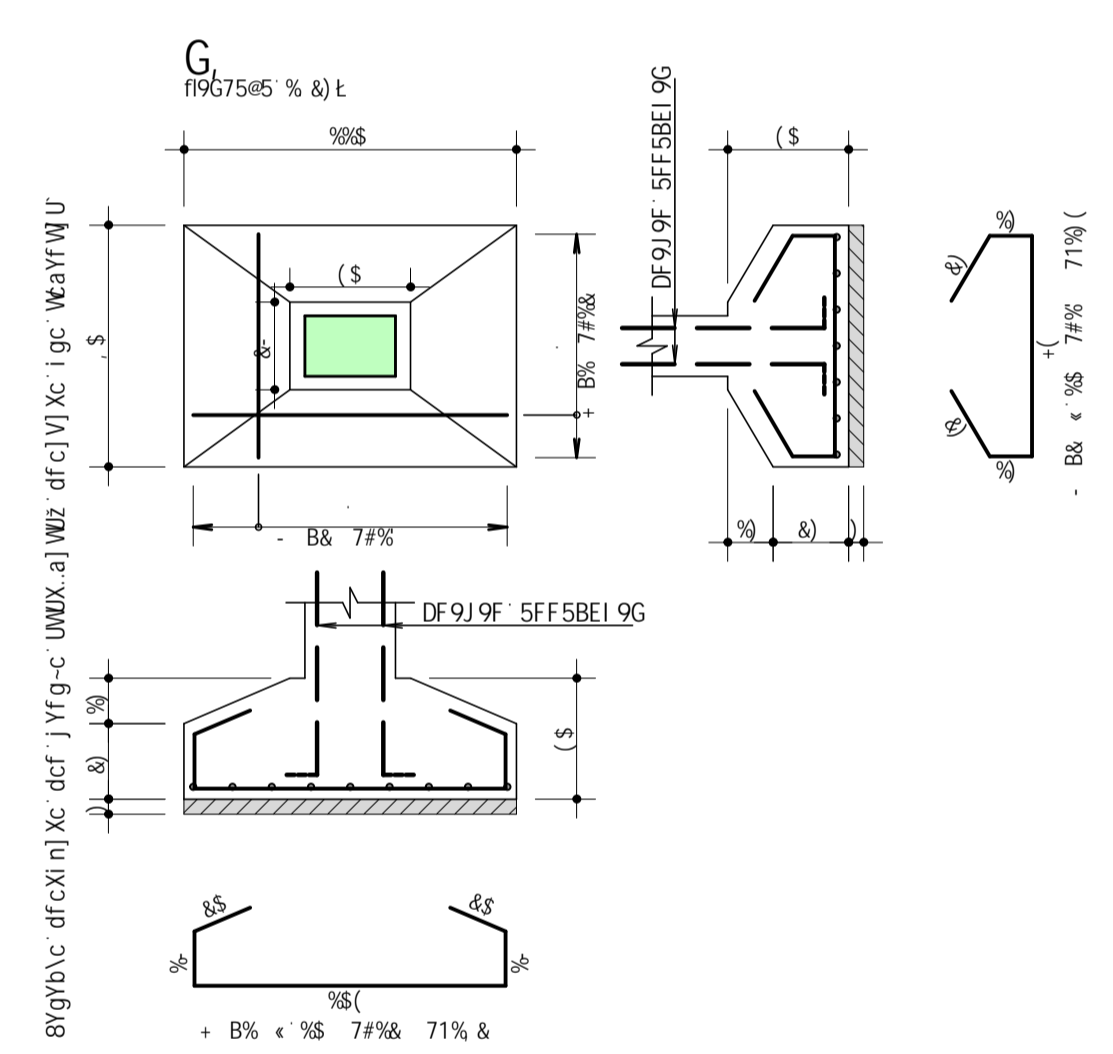
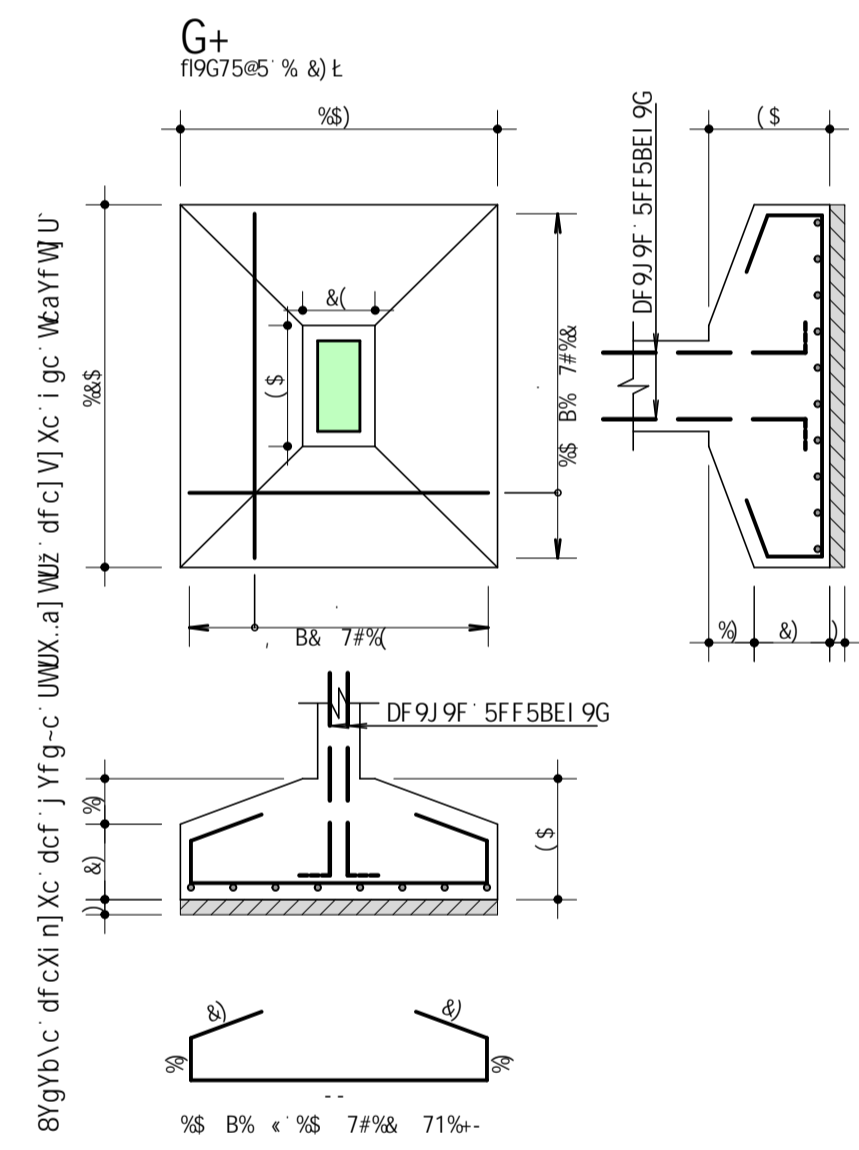
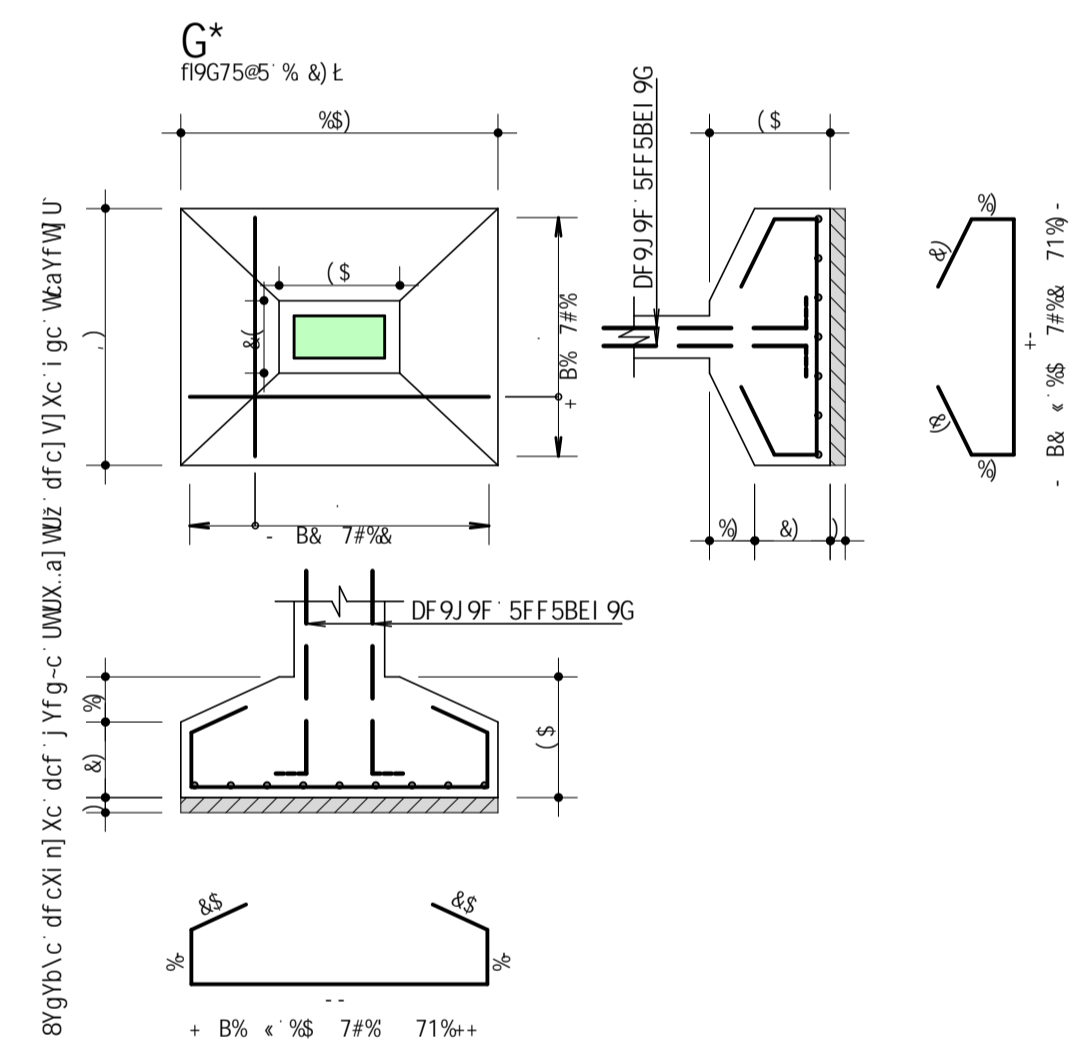
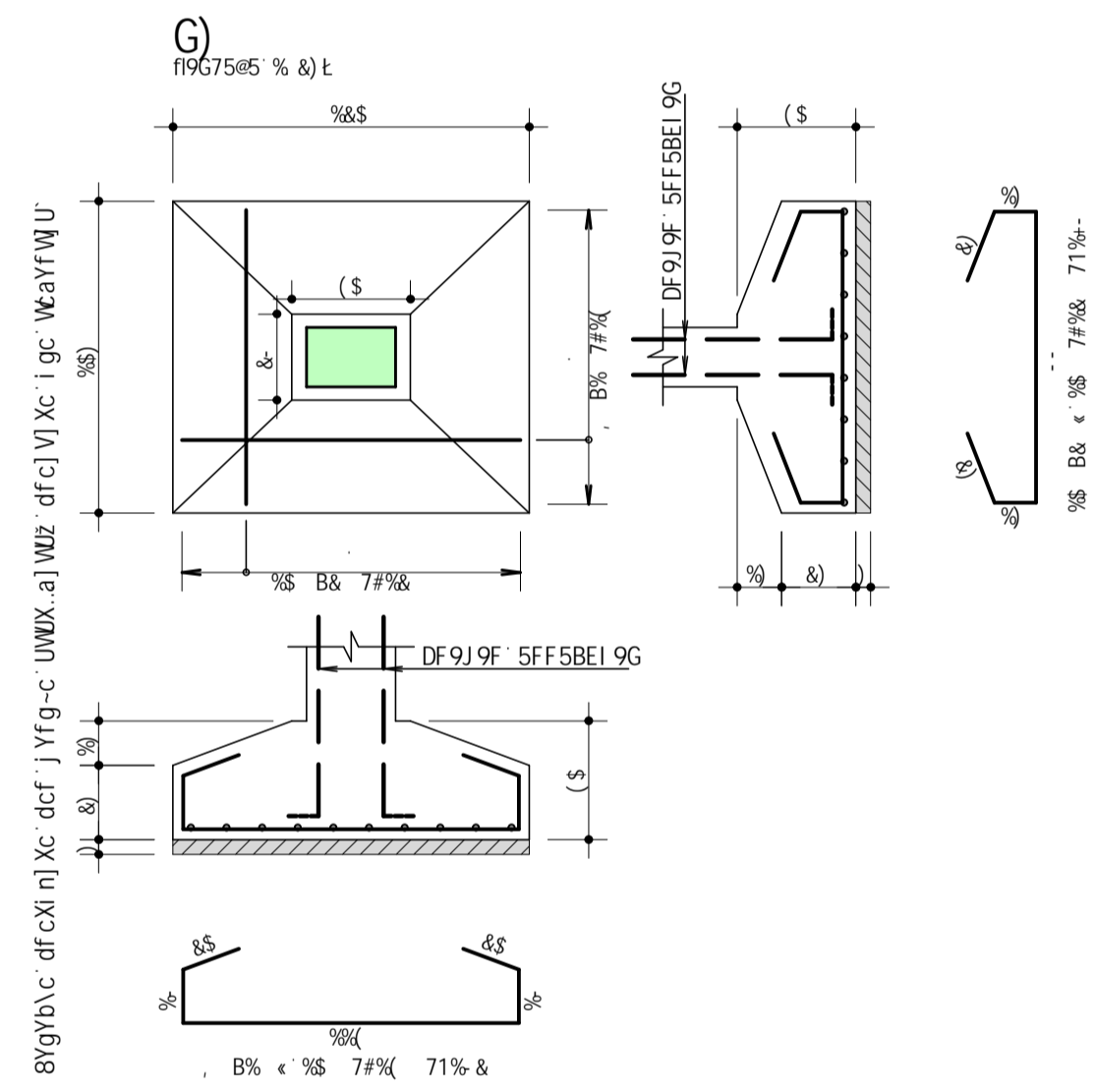


SUC	DOG	6-H	ETSBH	7CABF-A9BHC	1B-H	HCB#
J5 %
J5 &
J5 (...



	5uC	DCG	6=H	EI 5BH	7CADF=A9BHC	B=H	HCH5@
			aa		Va	Va	Va
G%	55	55	55	55	55	55	55
G&	55	55	55	55	55	55	55
G'	55	55	55	55	55	55	55
G(	55	55	55	55	55	55	55
G-	55	55	55	55	55	55	55
G*	55	55	55	55	55	55	55
G+	55	55	55	55	55	55	55
G%	55	55	55	55	55	55	55
G&	55	55	55	55	55	55	55
G'	55	55	55	55	55	55	55
G(	55	55	55	55	55	55	55
G-	55	55	55	55	55	55	55
G*	55	55	55	55	55	55	55
G+	55	55	55	55	55	55	55

	5uC	F9GI AC 89	5uC	D9GC
		aa	a	I
DYgc HchU	55	55	55	55



7CB7F94C
ZVL 1 &) ADU

5758AA-75
ANDRESSA DURLO

6AF5
TCC II

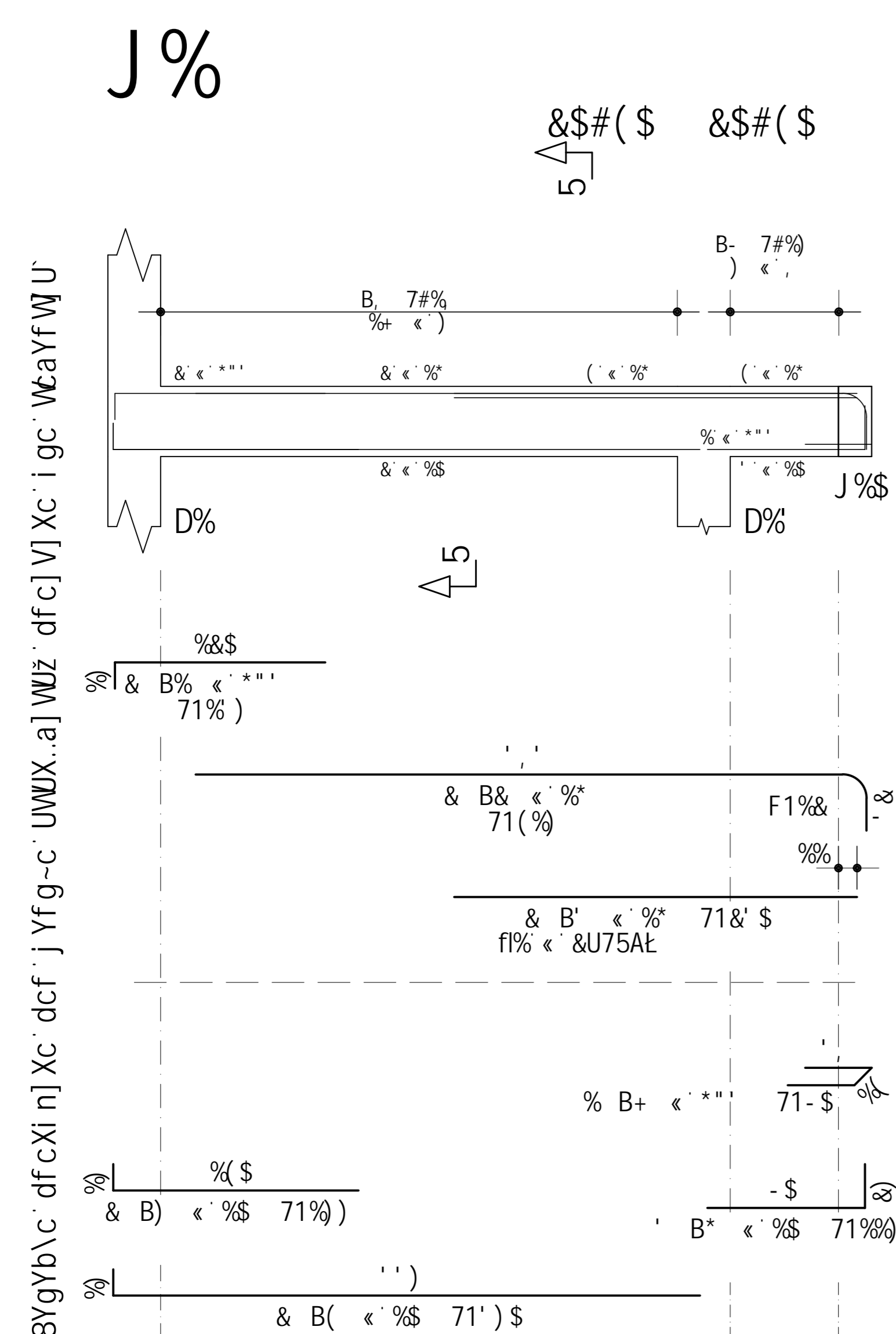
11-H 4C
Sapatas de divisa com viga de transição
Detalhamento das sapatas

S1 / S2 / S3 / S4 / S5 / S6 / S7 / S8
S9 / S10 / S11

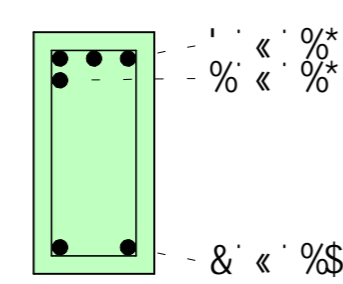
89C B = C

1/3

8YgYb\c·dfcXi n]Xc·dcf·j Yfg-c·UWX..a]WUz·dfc]V]Xc·i gc·WcaYfWU

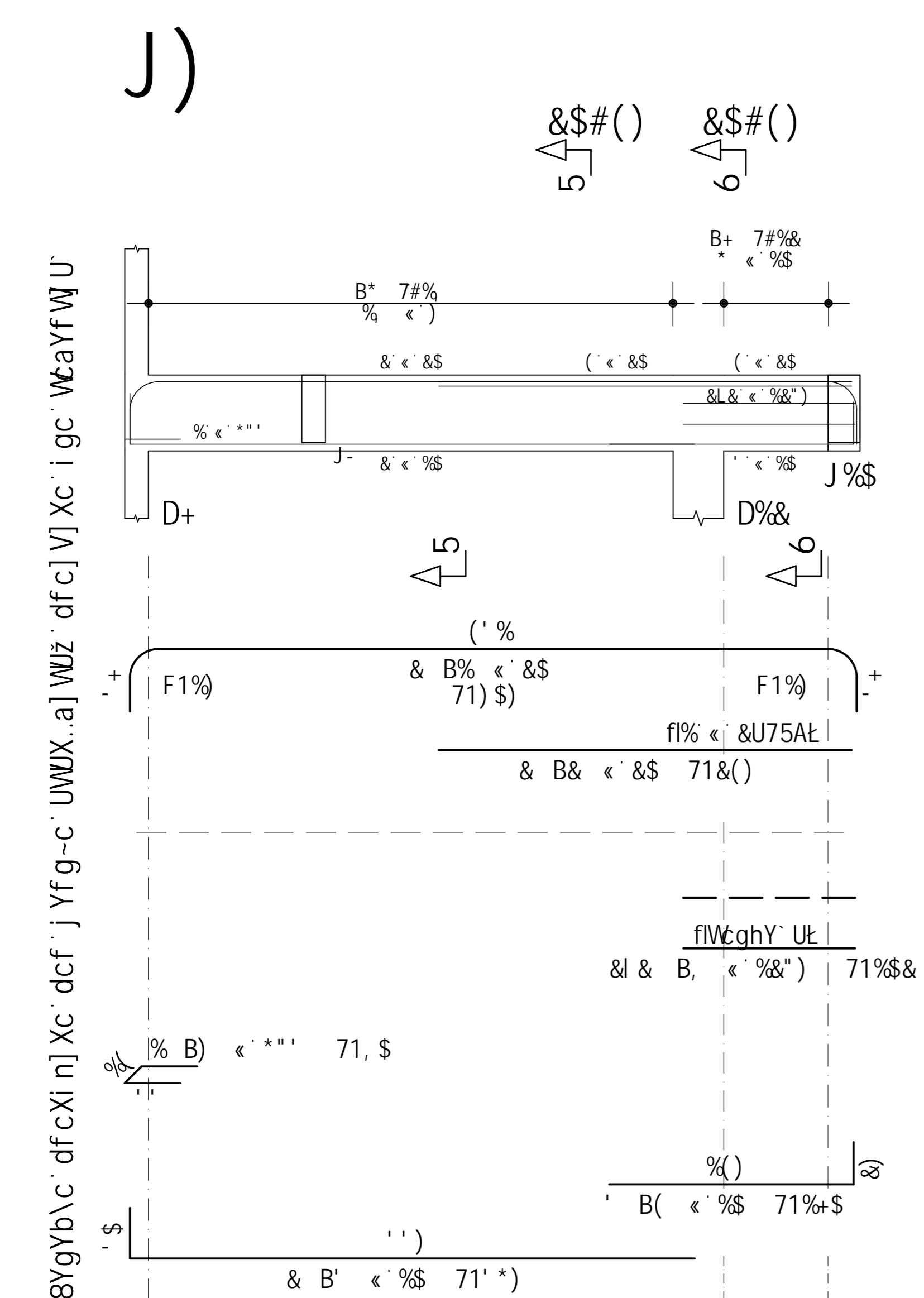


7cfhY' 5

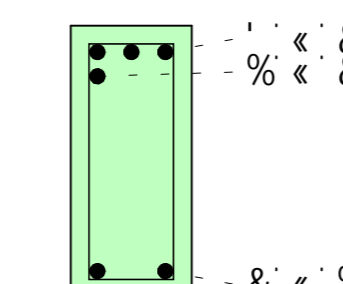


%+ B, €') 71%00%
) B- €', 71%0%

8YgYb\c·dfcXi n]Xc·dcf·j Yfg-c·UWX..a]WUz·dfc]V]Xc·i gc·WcaYfWU

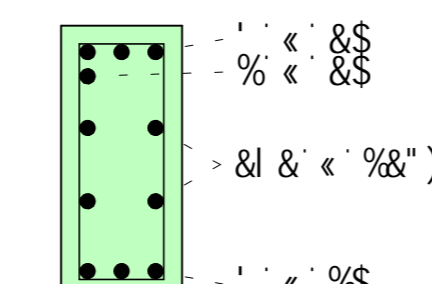


7cfhY' 5



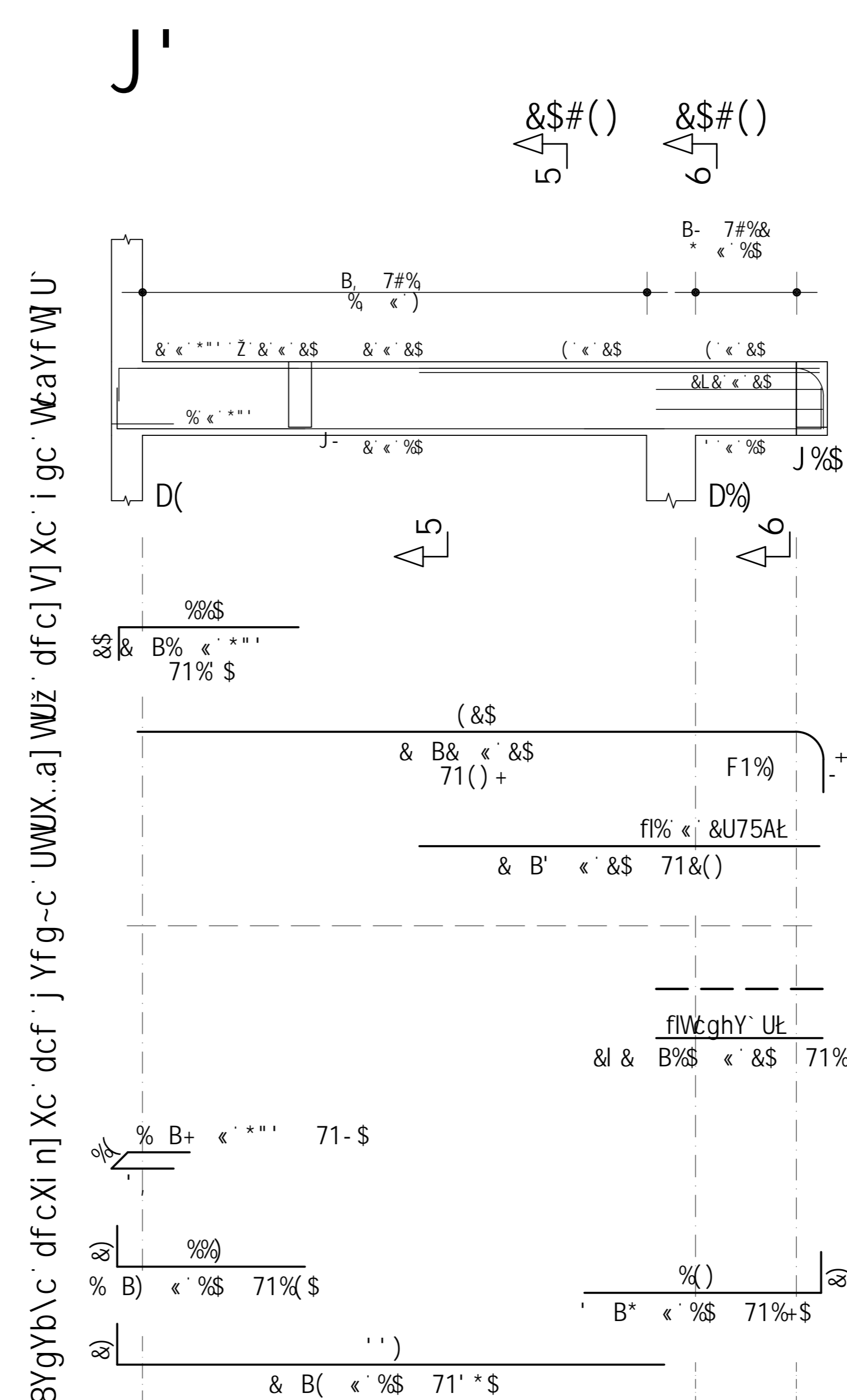
% B* €') 71%00%

7cfhY' 6

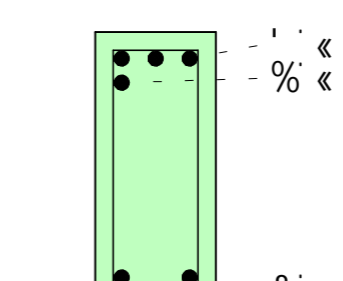


* B+ €'% 71%00-

8YgYb\c·dfcXi n]Xc·dcf·j Yfg-c·UWX..a]WUz·dfc]V]Xc·i gc·WcaYfWU

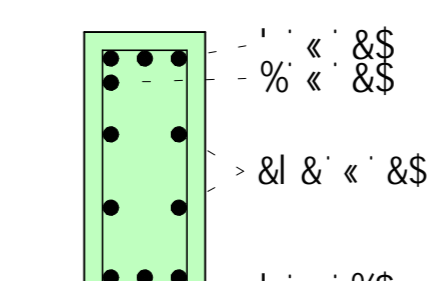


7cfhY' 5



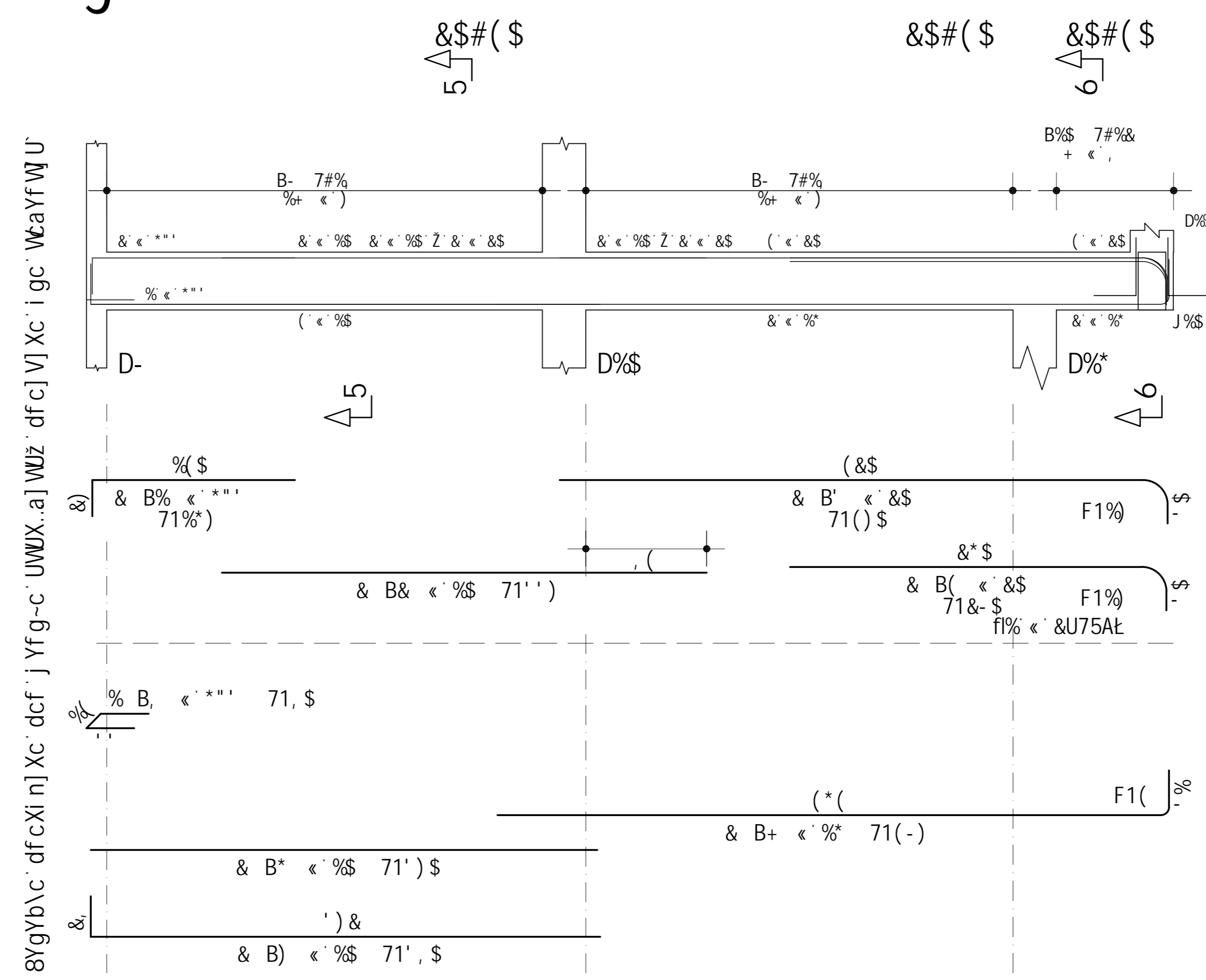
% B, €') 71%00%

7cfhY' 6

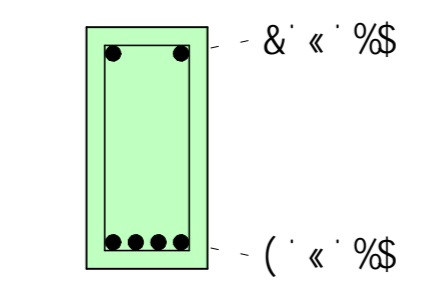


* B- €'% 71%00-

J*

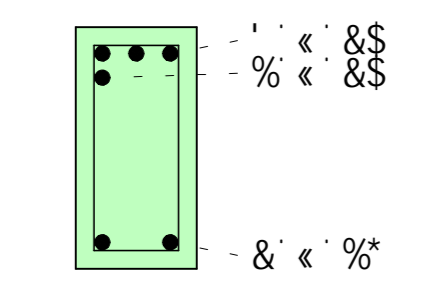


7cfhY' 5



' (B- €') 71%00%

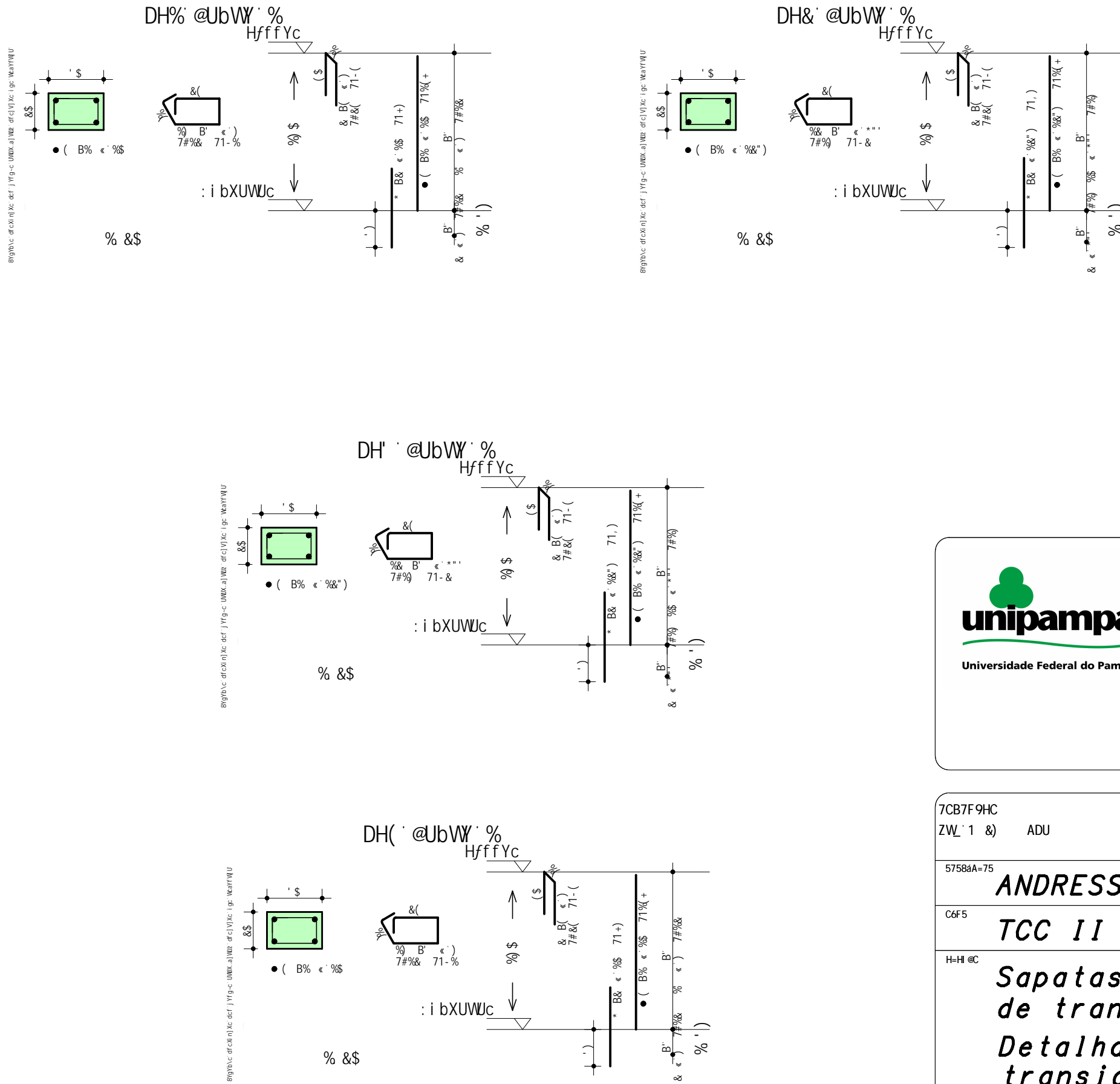
7cfhY' 6



+ B%€', 71%00%

SUC	DOG	6-H	ETSBH	7CADH-A98H	7CADH-A98H
J%	185	185	185	185	185
J)	185	185	185	185	185
J)	185	185	185	185	185
J'	185	185	185	185	185

SUC	F93 AC	B9 SUC	7CADH	D90C
8YgYb\c·dfcXi n]Xc·dcf·j Yfg-c·UWX..a]WUz·dfc]V]Xc·i gc·WcaYfWU	185	185	185	185
D90C HEUR	185	185	185	185
D90C HEUR	185	185	185	185



5uC	DCG	6=H	EI 5BH	7CADF=A9BHC	
		aa		I B=H	HCH5@
				Va	Va
DH% @UbVW %					
	\$5	%	%\$	(%(+
	\$5	&	%\$	*	(+
	\$5			%	- %
	\$5			&	- (
DH& @UbVW %					
	\$5	%	%&"	(%(+
	\$5	&	%&"	*	(+
	\$5		%&"	%&	- &
	\$5			&	- (
DH' @UbVW %					
	\$5	%	%&"	(%(+
	\$5	&	%&"	*	(+
	\$5		%&"	%&	- &
	\$5			&	- (
DH(@UbVW %					
	\$5	%	%\$	(%(+
	\$5	&	%\$	*	(+
	\$5			%	- %
	\$5			&	- (

F9GI AC 89 5uC			
5uC	6=H	7CADF	D9GC
	aa	a	_[Z
\$5			
\$5	%\$	&&	
\$5	%&"	&&	%
\$5		&&	&%
DYgc HchU	*\$5 1		_[Z
DYgc HchU	)\$5 1		-_[Z



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
 Campus Alegrete
 Avenida Tiarajú, 810

7CB7F9HC	89° B ° C
ZW 1 & ADU	
5758aA=75	
C6F5	
H=H@C	
ANDRESSA DURLO TCC II Sapatas de divisa com viga de transição Detalhamento dos pilares de transição PT1 / PT2 / PT3 / PT4	
85H5 \$+#&&&'	9G75e5 % &

3/3