

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
DIRETORIA DE CIÊNCIAS EXATAS  
ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR  
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – STRUCTURE ACTIONS:**  
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DE COMBINAÇÕES DE  
AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

PROF.º ME. JORGE ALBERTO CECIN

São Paulo  
2020

JOSÉ AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR  
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – STRUCTURE ACTIONS:  
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DE COMBINAÇÕES DE  
AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como parte  
das exigências para a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º M<sup>º</sup>. Jorge Alberto Cecin.

São Paulo  
2020

JOSÉ AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR  
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – STRUCTURE ACTIONS:  
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DE COMBINAÇÕES DE  
AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como parte  
das exigências para a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

São Paulo, 19 de Junho de 2020

---

Orientador Prof.º Me. Jorge Alberto Cecin

São Paulo  
2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, em primeiro lugar, a Deus por ter nós colocado neste caminho juntos, praticamente desde o começo da formação e, dessa forma, ter feito com que um nos ajudássemos mutuamente.

Em segundo lugar, agradecemos às nossas esposas por ter nos incentivado e ter tido compreensão nos momentos mais difíceis. Também queremos agradecer a todos os familiares e amigos que de alguma forma ajudaram em nossa formação.

Uma pessoa importante para o desenvolvimento deste TCC, e que merece um agradecimento especial, é o tio do Jose Airton, chamado Marcio Ribeiro: ele quem ensinou o Jose a programar e ajudou com dicas importantes para chegar na ferramenta desenvolvida.

Por último, e não menos importante, queremos agradecer a todos os professores, em especial o Prof.º M<sup>º</sup>. Jorge, que nos ajudou no desenvolvimento deste trabalho, e a toda equipe da UNINOVE, pois cada profissional teve seu papel de importância para a nossa formação e levaremos conosco o conhecimento para o resto de nossas vidas!

## RESUMO

Com base nos estudos de possíveis ações e as combinações que podem ser feitas a partir de cada uma delas, além de uma boa análise da norma NBR6118:2014 (Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento), chega-se à conclusão que todas as ações podem de alguma forma apresentar uma situação desfavorável para uma estrutura, seja no Estado-Limite Último ou no Estado-Limite de Serviço.

Por tal motivo, foi desenvolvido uma ferramenta computacional que automatiza todas essas combinações, tornando possível cálculos precisos em pouco tempo, além de minimizar as chances de erros na hora de desenvolvê-las.

Com essa ferramenta a construção civil ganha um grande aliado na hora de projetar, auxiliando e resolvendo problemas que antes dispendiam muito tempo e muita atenção para realizar tornando possível e viável projetos que antes demandavam muito trabalho.

**Palavras-chaves:** Ações. Combinações de Ações. Estrutura de Concreto. Ferramenta Computacional.

## **ABSTRACT**

Based on the study of all possible actions and the combinations that can be made from each one of them, in addition to a good analysis of the NBR6118:2014 standard (Design of concrete structures – Procedure), it leads to the conclusion that all actions, in a certain way, can present an unfavorable situation for a structure, either in the last limit state or in the service limit state.

Thereby a computational tool was developed, which automates all these combinations, making possible accurate calculations in a short time, aside from minimizing the chances of errors during the development.

With this tool, civil construction gains a great ally when it comes to designing, helping and solving problems that previously spent alot of time and a lot of attention to carry out, making possible and viable projects that previously required a lot of work.

**Key-words:** Actions. Actions Combinations. Concrete Structure. Computational Tool.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VERIFICAÇÕES PARA O ESTADO LIMITE ÚLTIMOS.....	13
FIGURA 2 – COEFICIENTE DE COMBINAÇÃO ( $\psi_0$ ) E REDUÇÃO ( $\psi_1$ E $\psi_2$ ).....	17
FIGURA 3 – COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO .....	18
FIGURA 4 – COMBINAÇÕES ÚLTIMAS .....	18
FIGURA 5 – COMBINAÇÕES DE SERVIÇO .....	20
FIGURA 6 – TIPO DE CONCRETO ESTRUTURAL POR COMBINAÇÕES DE SERVIÇOS (ELS) .....	21
FIGURA 7 – SPLASH SCREEN .....	26
FIGURA 8 – TELA HOME .....	27
FIGURA 9 – JANELA CRIAR NOVO.....	28
FIGURA 10 – JANELA DE LISTA DE AÇÕES .....	29
FIGURA 11 – JANELA DE ADIÇÃO E EDIÇÃO DAS AÇÕES.....	31
FIGURA 12 – JANELA DE CONFIGURAÇÃO DAS AÇÕES – AÇÕES VARIÁVEIS .....	31
FIGURA 13 – JANELA DE RESULTADO .....	32
FIGURA 14 – EXEMPLO DE ARQUIVO CSV NO EXCEL.....	33
FIGURA 15 – EXEMPLO DE ARQUIVO CSV NO EDITOR DE TEXTO.....	33
FIGURA 16 – EXEMPLO DO CABEÇALHO NO EXCEL .....	35
FIGURA 17 – EXEMPLO DO CABEÇALHO NO EDITOR DE TEXTO .....	35
FIGURA 18 – SIMULAÇÃO – CRIAR NOVO .....	36
FIGURA 19 – SIMULAÇÃO – DEFINIÇÕES INICIAIS .....	37
FIGURA 20 – SIMULAÇÃO – LISTA DE AÇÕES .....	37
FIGURA 21 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DO PESO PRÓPRIO.....	38
FIGURA 22 – SIMULAÇÃO – LISTA DE AÇÕES COM O PESO PRÓPRIO.....	38
FIGURA 23 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DA SOBRECARGA.....	39
FIGURA 24 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DO VENTO .....	39
FIGURA 25 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DA CARGA ACIDENTAL .....	40
FIGURA 26 – SIMULAÇÃO – LISTA DE AÇÕES COMPLETA .....	40
FIGURA 27 – SIMULAÇÃO – BOTÃO PARA O RESULTADO.....	41
FIGURA 28 – SIMULAÇÃO – RESULTADO .....	41
FIGURA 29 – SIMULAÇÃO – GERAR PDF .....	42
FIGURA 30 – SIMULAÇÃO – VISUALIZAÇÃO DO PDF .....	42
FIGURA 31 – SIMULAÇÃO – SALVAR AÇÕES.....	43
FIGURA 32 – SIMULAÇÃO – CSV NO EXCEL .....	43

FIGURA 33 – SIMULAÇÃO – CSV NO EDITOR DE TEXTO .....	44
FIGURA 34 – SIMULAÇÃO – ABRIR ARQUIVO CSV .....	44



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	9
2 OBJETIVO .....	10
3 METODOLOGIA.....	11
4 JUSTIFICATIVA .....	12
5 ESTADOS LIMITES .....	13
5.1 ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS (ELU).....	13
5.2 ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO (ELS).....	14
6 AÇÕES .....	15
6.1 AÇÕES PERMANENTES .....	15
6.2 AÇÕES VARIÁVEIS .....	16
7 COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	17
7.1 COMBINAÇÕES DO ESTADO-LIMITE ÚLTIMO .....	17
7.1.1 Combinações Normais .....	19
7.1.2 Combinações Especiais ou de Construções .....	19
7.1.3 Combinações Excepcionais .....	19
7.2 COMBINAÇÕES DO ESTADO-LIMITE SERVIÇO.....	20
7.2.1 Combinações Quase Permanentes de Serviço .....	21
7.2.2 Combinações Frequentes de Serviço .....	21
7.2.3 Combinações Raras de Serviço .....	22
8 RECUSOS DO DESENVOLVIMENTO.....	23
8.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO - C#.....	23
8.2 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA À OBJETO (POO) .....	24
8.3 VISUAL STUDIO 2019 – IDE .....	25
9 FERRAMENTA COMPUTACIONAL .....	26
9.1 TELA E JANELAS .....	26
9.2 ARQUIVO DE IMPORTAÇÃO .....	32
10 SIMULAÇÃO DE USO .....	36
11 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento de todas as ações que agem em uma construção, além de todas as suas combinações possíveis que podem de alguma forma exigir de seus componentes construtivos é de extrema importância. O estudo de seus efeitos e possíveis soluções são fundamentais para a escolha correta de todo o processo construtivo.

Tendo em mente quão trabalhoso e indispensável é o cálculo das combinações de ações em uma estrutura, uma vez que podem ocorrer equívocos humanos e danos materiais por conta de erros durante os cálculos executados, foi desenvolvido uma ferramenta computacional de cálculos, que poderá minimizar tais erros e otimizar os resultados, auxiliando de tal modo tanto estudantes quanto engenheiros, em relação à precisão e rapidez nesse processo.

Essa ferramenta automatizará cálculos e combinações, além de ser de fácil entendimento até mesmo para quem tenha dificuldade em executar algum tipo de programa, proporcionando rapidez e facilidade durante os cálculos e resultados precisos e satisfatórios. Com uma linguagem simples e de fácil entendimento, e indicação de possíveis erros, para que fique simples e rápido até a hora de fazer a escolha.

Dessa forma será fácil calcular os esforços nas estruturas de vários tipos de construção, e a partir daí fazer o dimensionamento necessário dos elementos estruturais para um bom processo da construção, analisando qualquer imprevisto com antecedência, resolvendo possíveis erros e tornando todo o processo viável e seguro, além de poder ser operado com muita praticidade e funcionalidade.

## **2 OBJETIVO**

Este trabalho tem como proposta criar uma ferramenta computacional para auxiliar nos cálculos de combinações de ações, buscando mais praticidade, agilidade e maiores chances de acertos, para estudantes e engenheiros, tornando os resultados mais confiáveis e o processo mais prático.

O desenvolvimento da ferramenta tem como objetivo ser um material de fácil compreensão. Deste modo, serão fixadas todas as informações padrão para facilitar ainda mais o dia-a-dia dos engenheiros civis e dos estudantes de engenharia civil.

No final, a ferramenta mostrará todas as combinações realizadas em formato de memorial de cálculo, com o intuito de facilitar e minimizar os erros humanos gerados na hora da resolução, pois no geral são muito trabalhosos.

A ferramenta conta com métodos simples de operação, de fácil compreensão e configuração, para pessoas que possuam ou não facilidade com mecanismos tecnológicos, a fim de tornar viável sua interação no meio da engenharia civil.

### 3 METODOLOGIA

A partir de revisão bibliográfica das prescrições contidas nas normas da ABNT, referentes a segurança das estruturas, notadamente que a NBR 6118:2014 contém todo o conteúdo para o cálculo de combinações de ações em estruturas de concreto.

Desenvolvemos um estudo das ações atuantes nas estruturas e das combinações dos esforços gerados por essas ações para o Estados Limites de Serviço (também referenciados em algumas publicações como Estado Limite de Utilização) e para os Estados de Limite Últimos. A norma informa, para cada situação, as combinações e seus respectivos fatores de majoração e/ou fatores de combinação ou redução.

Foi feita também a revisão bibliográfica de conceitos e linguagens computacionais no intuito de escolher a linguagem que poderia ser utilizada para desenvolvimento de um software de fácil manuseio que integrasse as informações das possíveis combinações das ações e que produzisse um resultado compatível com as prescrições normativas de segurança e uso das estruturas.

A partir desses dois requisitos, elaboramos o software baseado totalmente nas combinações da NBR 6118. Todas as dúvidas que surgiram ao decorrer do desenvolvimento foram sanadas com base na mesma. Com o objetivo de alcançar uma boa usabilidade para o software e facilitar o trabalho do engenheiro, criamos uma interface que apresenta opções de escolha para facilitar o cadastro das ações antes de apresentar o resultado e executar o algoritmo. O software analisa e valida os dados.

#### **4 JUSTIFICATIVA**

Muitos estudantes de engenharia civil e até mesmo engenheiros civis, tem muito trabalho e muitas vezes cometem erros no momento dos cálculos de combinações das ações, já que exigem muita atenção para criar as diversas possibilidades de combinações e de coletar os fatores exigidos pela normatização. Atualmente em toda edificação deve ser considerada a atuação do vento, tornando as combinações imprescindíveis.

Fazer um estudo sobre as ações existentes em uma estrutura, a fim de compreender quais são as combinações recomendadas por norma e os fatores dessas combinações, como também entender quais combinações são necessárias para cada tipo de estrutura, é uma das coisas mais importantes na etapa de elaboração de um projeto. Uma ferramenta que auxilia nos cálculos normalmente diminui as chances de erro, tornando-se muito útil, deixando simples o que antes era muito trabalhoso.

A ferramenta computacional conta com um modo simples e fácil para o desenvolvimento dos cálculos, que antes tomavam muito tempo e exigiam muito trabalho na hora de fazer todas as combinações, principalmente para as pessoas que têm mais dificuldades, tornando confiável e seguro todo o processo.

## 5 ESTADOS LIMITES

Os estados limites em uma estrutura, são critérios que determinam imprópria para o uso, por razões de segurança, estética, desempenho e funcionalidades fora do padrão especificados. Em outras palavras, é o estado em que a estrutura deixa de atender os requisitos para um funcionamento de forma plena e adequada. Eles são fundamentados em métodos semi probabilísticos, para desenvolver as combinações de ações, sendo usado nos cálculos pela norma, que utiliza dados empíricos nos cálculos, majora as ações e esforços, diminui os valores de resistências, equaciona a situação de ruína tornando o esforço solicitante de cálculo igual a resistência. Esses critérios são divididos em Estado-Limite Último e Estado-Limite de Serviço, os quais definem alguns parâmetros para a segurança das construções. Historicamente os métodos clássicos eram com base no conceito do fator de segurança e os métodos probabilísticos e semi probabilísticos representaram um avanço tecnológico no conceito de segurança e desempenho.

### 5.1 ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

A segurança das estruturas de concreto deve sempre ser verificada de acordo com o que está prescrito na norma de regulamentação (NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento) e será tomada como referência para esse trabalho. Deve-se sempre observar os seguintes Estados-Limites Últimos para que a estrutura esteja nos padrões exigidos da norma, respeitando sempre o que ela exige.

Figura 1 – Verificações para o Estado Limite Últimos

- a) estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida na Seção 14, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;
- c) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas (ver Seção 23);
- e) estado-limite último de colapso progressivo;
- f) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200;
- g) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

## 5.2 ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO (ELS)

Estados-limites de serviço relaciona a utilização da estrutura de maneira que ela proporcione conforto, seja durável e sua aparência passe a sensação de bem estar para quem a esteja utilizando, suportando não só as ações causadas pelo uso quanto relacionado as máquinas que possam estar sobre ela.

As estruturas de concreto para estarem seguras poderão ser sujeitas a testes relacionados a alguns Estados-Limites de Serviço, segundo métodos específicos e confiáveis (NBR 6118). Já em construções especiais poderá ser necessário verificar o atendimento em relação a outros Estados-Limites de Serviço.

Um exemplo de desconforto no estado limite de serviço, é o excesso de deformação em vigas, que a olho nu pode gerar uma impressão de insegurança, porém que não passa de uma patologia causada por deficiência na execução ou dimensionamento inadequado. Contudo mesmo que não estejam dentro do padrão de serviço não apresentam risco à segurança.

Outra patologia em vigas muito observada são as vibrações excessivas, como por exemplo ocorre em estádios de futebol quando a torcida começa a se movimentar ao mesmo tempo causando a impressão de insegurança, pois pelo balançar excessivo nota-se um comportamento elástico nas vigas, causando muito mal-estar a quem presencia, mas sem qualquer perigo a quem utiliza.

## 6 AÇÕES

Ações são causas que provocam algum tipo de esforço ou deformação nas estruturas, e causa influência sobre um corpo capaz de produzir um estado de tensão ou modificar um estado já existente, podem ser isoladas ou em outras situações, podem ser em conjunto com outras que geram algumas combinações que devem ser estudadas e compreendidas para um processo construtivo correto.

### 6.1 AÇÕES PERMANENTES

Para as ações permanentes, deve se levar em conta que será uma carga presente em todo o tempo de vida útil da estrutura e os valores característicos devem ser adotados iguais aos valores médios das respectivas distribuições de probabilidade, sejam eles valores característicos superiores ou inferiores.

Tabela 1 – Definições das Ações Permanentes

TIPO	AÇÃO		DEFINIÇÕES
<b>Diretas</b>	Peso próprio		Massa específica do concreto juntamente com a massa das armaduras e demais elementos estruturais e de fechamentos.
	Peso dos elementos construtivos fixos e de instalações permanentes		São considerados com seus valores nominais de massa específica e engloba todos os elementos que compõe a estrutura como portas, janelas, pisos etc.
	Empuxos permanentes		Esforços de terra e outros materiais granulosos em contato direto com a estrutura.
<b>Indiretas</b>	Retração do concreto		Impostas pela armadura em casos de deformação específica em obras de concreto armado.
	Fluência do concreto		Quando submetida a carregamento o concreto pode estar sujeito a imperfeições causadas por ele.
	Deslocamentos de apoio		Considera-se quando gerados esforços significativos em relação ao conjunto das outras ações.
	Imperfeições geométricas	Imperfeições globais	Considera-se quando há um desaprumo nas estruturas.
		Imperfeições locais	Tração recorrente do desaprumo de pilares contra ventados a pilares de contraventamento
		Momento mínimo	Efeito das imperfeições locais nos pilares e pilares-parede.
	Protensão		Deve ser considerada em todas as estruturas protendidas, considerando a força inicial e as perdas de protensão.

Fonte: Autores



## 6.2 AÇÕES VARIÁVEIS

O vento e a água correspondem a cargas acidentais na estrutura e se encaixam como cargas variáveis, pois estão presentes esporadicamente na estrutura e devem respeitar as prescrições feitas pelas normas brasileiras específicas, as ações variáveis tem valores específicos por consenso indicado por norma e correspondem a valores que vão de 25% a 35% de probabilidade de serem ultrapassados durante um período de 50 anos no sentido desfavorável, o que corresponde que o valor característico com período de retorno médio é de 174 anos a 117 anos respectivamente.

Tabela 2 – Definições das Ações Variáveis

TIPO	AÇÃO	DETALHES
<b>Diretas</b>	Cargas acidentais previstas para o uso da construção	Cargas laterais, verticais, de frenação ou aceleração, força centrífuga, sempre considerando a posição mais desfavorável.
	Ação do vento	Deve ser analisada a partir de critérios que possam contribuir desfavoravelmente para a estrutura como a localização, a altitude e velocidade, e possíveis danos desfavoráveis causados por esses fatores.
	Ação da água	Deve ser analisada quanto ao valor que a carga de reservatórios, caixas de água, tanques etc. Terão nas estruturas e onde possa haver acúmulo d'água provenientes de chuvas, deve ser considerado o valor da lâmina de água ali acumulada.
	Ações variáveis durante a construção	Peso próprio de itens que serão utilizados na construção, porém que ainda não podem ser incluídos na fase final da construção, como: andaimes, ferramentas, geradores etc.
<b>Indiretas</b>	Variações uniformes de temperatura	Deve ser considerado o clima regional onde a estruturas será e se seus elementos estruturais podem sofrer alterações pela variação da temperatura de acordo com suas dimensões.
	Variações não uniformes de temperatura	Temperaturas que não sejam distribuídas significativamente igual em toda a estrutura, alguns elementos podem sofrer variações de tamanho.
	Ações dinâmicas	São choques ou vibrações causadas por impactos de veículos ou sujeita a ações de terremotos ou condições meteorológicas que de alguma forma possam causar danos desfavoráveis.

Fonte: Autores

## 7 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

No Estado-Limite Último temos alguns fatores que têm de ser levados em conta na hora de fazer o estudo das ações nas estruturas, e chegar a um resultado que envolve, além de fatores de redução e majoração, combinações de serviços que levarão em conta o tempo que cada tipo de ação que permanece na estrutura; desta forma chegaremos a combinações adequadas para cada situação.

Nos esforços solicitantes, os cálculos devem ser multiplicados pelos coeficientes de majoração quando for utilizada em combinações, segundo alguns critérios para cada tipo de cálculo, onde será estabelecido qual ação estabelece maior esforço negativo ou positivo seguindo de um termo específico de majoração.

Para facilitar a visualização e entender melhor cada combinação de ação no ELU disponibilizaremos uma tabela para cada tipo de ações:

Figura 2 – Coeficiente de Combinação ( $\psi_0$ ) e Redução ( $\psi_1$  e  $\psi_2$ )

Ações		$\gamma_{f2}$		
		$\psi_0$	$\psi_1^a$	$\psi_2$
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 65)

### 7.1 COMBINAÇÕES DO ESTADO-LIMITE ÚLTIMO

Os valores para a verificação de resistência no estado-limite último para a execução de elementos estruturais nos quais estejam previstas condições desfavoráveis, o coeficiente deve ser multiplicado pelo valor referido para cada ação existente, para que se possa ter valores que represente maior segurança para a estrutura, escolhendo sempre um valor normatizado, podendo este ser favorável ou desfavorável para cada ação:

Figura 3 – Coeficientes de Ponderação

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
<b>Normais</b>	1,4 <sup>a</sup>	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
<b>Especiais ou de construção</b>	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
<b>Excepcionais</b>	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0
onde D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura. <sup>a</sup> Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.								

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 65)

Assim com o seu respectivo valor de majoração, as cargas são introduzidas nas combinações e os cálculos são feitos com as cargas com as devidas correções, seguindo a ordem de frequência que cada uma representa na estrutura, podendo ser considerada como principal em algumas combinações e como secundárias em outras, levando consigo um coeficiente de redução.

Figura 4 – Combinações Últimas

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
<b>Normais</b>	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado <sup>a</sup>	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores $P_{k\max}$ e $P_{k\min}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,\min}$ , onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$
<b>Especiais ou de construção <sup>b</sup></b>		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
<b>Excepcionais <sup>b</sup></b>		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 65)

Com base nas combinações disponíveis na norma, chegamos a algumas opções de combinações no estado limite último classificadas em:

### 7.1.1 Combinações Normais

A força de proteção com os valores  $P_k$  máximo e  $P_k$  mínimo tanto quando forem favoráveis, quanto desfavoráveis, devem ser considerados quando for calculado a combinação normal de esgotamento da capacidade de resistência.

Cada cálculo de combinação deve sempre estar presente as ações permanentes e a ação variável principal, cada uma com seus valores característicos e as outras ações variáveis, que nesse caso são secundárias, com seus valores reduzidos pelo fator correspondente, como mostra a seguir:

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{eg} \times F_{egk} + \gamma_q \times \left( F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} \right) + \gamma_{eq} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{eqk}$$

- $F_d$ : Valor de cálculo das ações;
- $\gamma_g$ : Coeficiente de ponderação permanente;
- $F_{gk}$ : Ações permanentes;
- $F_{q1exc}$ : Ações variáveis diretas;
- $\psi_{0j}$ : Coeficiente de redução;
- $\gamma_{eq}$ : Coeficiente de ponderação variável.

### 7.1.2 Combinações Especiais ou de Construções

Para o cálculo dessa combinação serão necessárias as ações permanentes e a ação variável especial, se existir, com seus valores característicos e as ações variáveis existentes não desprezíveis de ocorrências simultâneas, com seus valores acompanhados pelo fator correspondente, conforme pode ser visto abaixo:

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{eg} \times F_{egk} + \gamma_q \times \left( F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} \right) + \gamma_{eq} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{eqk}$$

- $F_d$ : Valor de cálculo das ações;
- $\gamma_g$ : Coeficiente de ponderação permanente;
- $F_{gk}$ : Ações permanentes;
- $F_{q1k}$ : Ações variáveis diretas;
- $\psi_{0j}$ : Coeficiente de redução;
- $\gamma_{eq}$ : Coeficiente de ponderação variável.

### 7.1.3 Combinações Excepcionais

Para a combinação excepcional deverá ter uma ação permanente e a ação variável excepcional, se houver, com os valores representativos e as outras ações variáveis existentes,

devem ser consideradas com a probabilidade de ocorrerem simultaneamente, seguido de seus coeficientes correspondentes. Nesse caso, enquadra-se sismos e incêndios.

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{eg} \times F_{egk} + F_{q1exc} + \gamma_g \times \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} + \gamma_{eq} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{eqk}$$

- $F_d$ : Valor de cálculo das ações;
- $\gamma_g$ : Coeficiente de ponderação permanente;
- $F_{gk}$ : Ações permanentes;
- $F_{q1exc}$ : Ações variáveis diretas;
- $\psi_{0j}$ : Coeficiente de redução;
- $\gamma_{eq}$ : Coeficiente de ponderação variável.

## 7.2 COMBINAÇÕES DO ESTADO-LIMITE SERVIÇO

São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e de acordo com o tipo de concreto estrutural. Devem, ser verificadas como estabelecido a seguir:

Figura 5 – Combinações de Serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
<b>Combinações quase permanentes de serviço (CQP)</b>	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_{2j} F_{qj,k}$
<b>Combinações frequentes de serviço (CF)</b>	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_{2j} F_{qjk}$
<b>Combinações raras de serviço (CR)</b>	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor característico $F_{q1k}$ e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + F_{q1k} + \Sigma \psi_{1j} F_{qjk}$

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 69)

Figura 6 – Tipo de Concreto Estrutural por Combinações de Serviços (ELS)

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação frequente

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 80)

### 7.2.1 Combinações Quase Permanentes de Serviço

As combinações quase permanentes de serviço estão presentes em quase toda vida útil da estrutura e no estado limite de deformação excessiva deve que ser considerada:

$$Fd = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_2 \times F_{qj,k}$$

- $F_{gi,k}$ : Ações permanentes direta;
- $\psi_2$ : Fator de redução;
- $F_{qj,k}$ : Ações variáveis.

### 7.2.2 Combinações Frequentes de Serviço

As combinações frequentes de serviço aparecem várias vezes na vida útil da estrutura e podem ser consideradas na verificação dos estados limites de formação e abertura de fissuras e vibração excessiva, podem ser consideradas também na deformação excessiva decorrente de temperatura e do vento, que podem prejudicar as vedações e suas combinações, como pode ser observado a seguir:

$$Fd = \sum F_{gik} + \psi_1 \times F_{q1k} + \sum \psi_2 \times F_{qj,k}$$

- $F_{gik}$ : Ações permanentes direta;
- $\psi_2$ : Fator de redução;
- $\psi_1$ : Fator de redução;
- $F_{q1k}$ : Ações variáveis.

### 7.2.3 Combinações Raras de Serviço

As combinações raras quase nunca ocorrem em uma estrutura, entretanto, sua combinação deve ser considerada para o estado limite de formação de fissuras, como mostrado a seguir.

$$Fd = \sum F_{gi,k} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} \times F_{qj,k}$$

- $F_{gi,k}$ : Ações permanentes direta;
- $\psi_1$ : Fator de redução;
- $F_{qj,k}$ : Ações variáveis.

## 8 RECUSOS DO DESENVOLVIMENTO

### 8.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO - C#

Em 1990, a Microsoft se deparou com diversas linguagens para resolver diversos problemas e, toda vez que um programa precisava migrar, era necessário aprender a nova linguagem, entendendo suas bibliotecas (Códigos prontos para resolução de processos complicados) e conceitos.

Em tal ano, a Microsoft recorreu à linguagem Java, assinando um acordo de licenciamento com a Sun para utilizar o Java no ambiente do Windows, porém a Sun não comunicava muito bem com o código nativo (código de máquina), devido a tal problema, a Microsoft criou sua própria implementação no Java chamada J++ para resolvê-lo.

O J++ funcionava apenas em ambiente Microsoft e esse fato violava o licenciamento feito com a Sun, criando uma batalha judicial. Sem o J++ a Microsoft foi obrigada a repensar em como lidar com diferentes linguagens e tecnologias. A empresa começou a trabalhar em uma plataforma para ser a base de todas as soluções (que depois foi chamada de .Net) e que conseguisse trabalhar com diversas linguagens usando as mesmas bibliotecas, desse modo, quando fosse migrar, seria necessário apenas aprender a linguagem, pois as bibliotecas eram as mesmas.

A Microsoft também precisava de uma linguagem, então começou o projeto COOL (C-like Object Oriented Language) com base nas linguagens de mercado o como: Java, C, C++, Smalltalk, Delphi e VB. A intenção era criar uma linguagem com soluções de problemas existentes em outra linguagens.

Em 2000 foi lançado o C# 1.0 (atualmente C# 7.3), tendo evoluído com expressiva velocidade, com novidades que se diferenciam bastante da linguagem Java e outras concorrentes. Como algumas linguagens, o C# roda em uma máquina virtual. O código é compilado para o código da máquina, transformando o código executável em binário, porém cada sistema operacional necessita de uma reescritura diferente, por tal motivo é utilizada a máquina virtual, visto que ele se “traduz” para cada sistema operacional.

A escolha dessa linguagem foi pelo fato de ser gratuita nos dias atuais, além de ter suporte das maiores empresas de tecnologia mundiais, com algumas implementações ser possível rodar em diversos sistemas operacionais e a facilidade do desenvolvimento de bibliotecas, possibilitando até mesmo o desenvolvimento de componentes para ser utilizado em outros sistemas, como por exemplo os sistemas BIM. Alguns autores relatam que uma



desvantagem do C# é o fato de rodar em uma máquina virtual, pois torna o processamento mais lento, porém é isso que oferece a versatilidade da linguagem.

## 8.2 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA À OBJETO (POO)

Para poder programar é necessário organizar os dados de forma estruturada, a fim de identificar como cada elemento se comporta, isto é feito por meio de classes, que são objetos e possuem parâmetros e métodos. Os parâmetros podem ser textos, números, booleano (verdadeiro ou falso), outra classe, entre outros tipos. Os métodos são constituídos por blocos de código que executam processos padrões, geralmente manipulando o objeto, e pode ou não, dar um retorno. Todas as nomenclaturas de classes, objetos e métodos não apresentam espaçamentos, acentuações e caracteres especiais; portanto, nos exemplos aqui apresentados esses caracteres não estarão presentes.

MACORATTI (O que significa Orientação a objetos?) descreve “O termo orientação a objetos significa organizar o mundo real como uma coleção de objetos que incorporam estrutura de dados e um conjunto de operações que manipulam estes dados.”

Existes alguns conceitos na Programação Orientada a Objeto (POO), são eles: herança, encapsulamento e polimorfismo.

Herança acontece quando uma ou mais classes herdaram os parâmetros e métodos de outra classe, assim pode-se colocar elementos comuns de um grupo de classe em uma classe principal e essa ser herdada pelas demais, também conhecida como superclasse.

Encapsulamento é quando os objetos e os processos dos métodos de uma classe são ocultos, logo quando um terceiro usar esse tipo de classe, não sabe seus parâmetros e o processo que o método executa, por exemplo: uma classe “Circulo” pode ter um objeto “raio”, mas em alguns casos será informado o diâmetro, não existe a necessidade de criar mais um objeto chamado “diâmetro”, em vez disso, cria-se um método chamado “setdiametro” e internamente divide o diâmetro por dois, assim salvando o resultado no raio. O problema de ter dois objetos, um chamado “raio” e o outro “diâmetro”, é que nem sempre será informado os dois, desse modo, algumas contas utilizam o “raio”, enquanto outras utilizam o “diâmetro”, com isso é mais simples ter somente um objeto e fazer a conversão na hora de guardar e de usar.

Polimorfismo ocorre em superclasses, quando um mesmo método pode ser executado de maneiras diferentes, por exemplo: a superclasse “Figura” é herdada pelas classes “Retangulo” e “Circulo”, a superclasse tem o método chamado “CalcularArea”, porém quando for usado na classe “Retangulo” deve ser realizado a conta: comprimento multiplicado pela

largura; e quando for usado na classe “Circulo” deve ser realizada a conta: “pi” multiplicado pelo raio ao quadrado.

Exemplo de uma estrutura de classes com os elementos mencionados acima:

- Superclasse: Figura
  - Parâmetros:
    - descricao
  - Método:
    - CalcularArea
- Classe: Retangulo
  - Parâmetros:
    - descricao (herdado da superclasse)
    - comprimento
    - largura
  - Método herdado da superclasse, mas com processo diferente:
    - CalcularArea (comprimento multiplicado pela largura)
- Classe: Circulo
  - Parâmetros:
    - descricao (herdado da superclasse)
    - raio
  - Método:
    - setdiametro (diametro dividido por dois)
  - Método herdado da superclasse, mas com processo diferente:
    - CalcularArea (“pi” multiplicado pelo raio ao quadrado)

### 8.3 VISUAL STUDIO 2019 – IDE

O Visual Studio 2019 é um Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE), é um editor de arquivos com recursos para ajudar no desenvolvimento e foi desenvolvido pela Microsoft, mesma empresa responsável pela linguagem C#, dessa maneira, tem diversos recursos compatíveis com a linguagem. A ferramenta foi desenvolvida em uma versão gratuita, o “Visual Studio Community”.

O Visual Studio 2019 ajuda na programação mais rápida e eficiente com recursos como: sugestão de código, inspeção de bugs (erros de desenvolvimento), análise do código em tempo de execução, entre outros. Ele também possibilita a integração com o GitHub, um sistema que gerencia projetos e ajuda no versionamento (mesclar o trabalho de diversos desenvolvedores), além de criar e salvar uma versão em nuvem, dessa maneira tendo uma versão do software em um ambiente seguro.

## 9 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Ao desenvolver a ferramenta computacional, foi pensado em algo com uma boa usabilidade, para que qualquer pessoa, mesmo com pouco conhecimento em computadores, conseguisse trabalhar nela. Assim, foi utilizado o padrão do sistema operacional Windows e alguns botões com imagem para ser mais simples de ser utilizado.

Já para as pessoas que sabem mexer em computadores, é possível acessar a maioria dos comandos por meio de “atalhos” ao clicar em teclas específicas no teclado, os atalhos podem ser encontrados na ferramenta.

Outro recurso é a criação de um importador em formato CSV (ponto e vírgula), para a ferramenta compreender o arquivo de importação foram criadas siglas, geralmente elas estarão entre parênteses e servem para informar determinado item, que será apresentado no Capítulo 9.2 ARQUIVO DE IMPORTAÇÃO. Para auxiliar em futuros ajustes é possível salvar os dados e importar futuramente.

Um item de ajuda foi criado no qual pode-se encontrar todas as informações sobre a ferramenta, além de como utilizá-la e como criar o arquivo de importação. Para baixar e utilizar a ferramenta acesse: <https://github.com/AirtonJunior/StructureActions>.

### 9.1 TELA E JANELAS

Ao iniciar a ferramenta ela exibe o Splash Screen e nessa tela é exibido: nome da ferramenta, subtítulo do TCC, nome dos integrantes, nome do orientador e logo da Uninove.

Figura 7 – Splash Screen

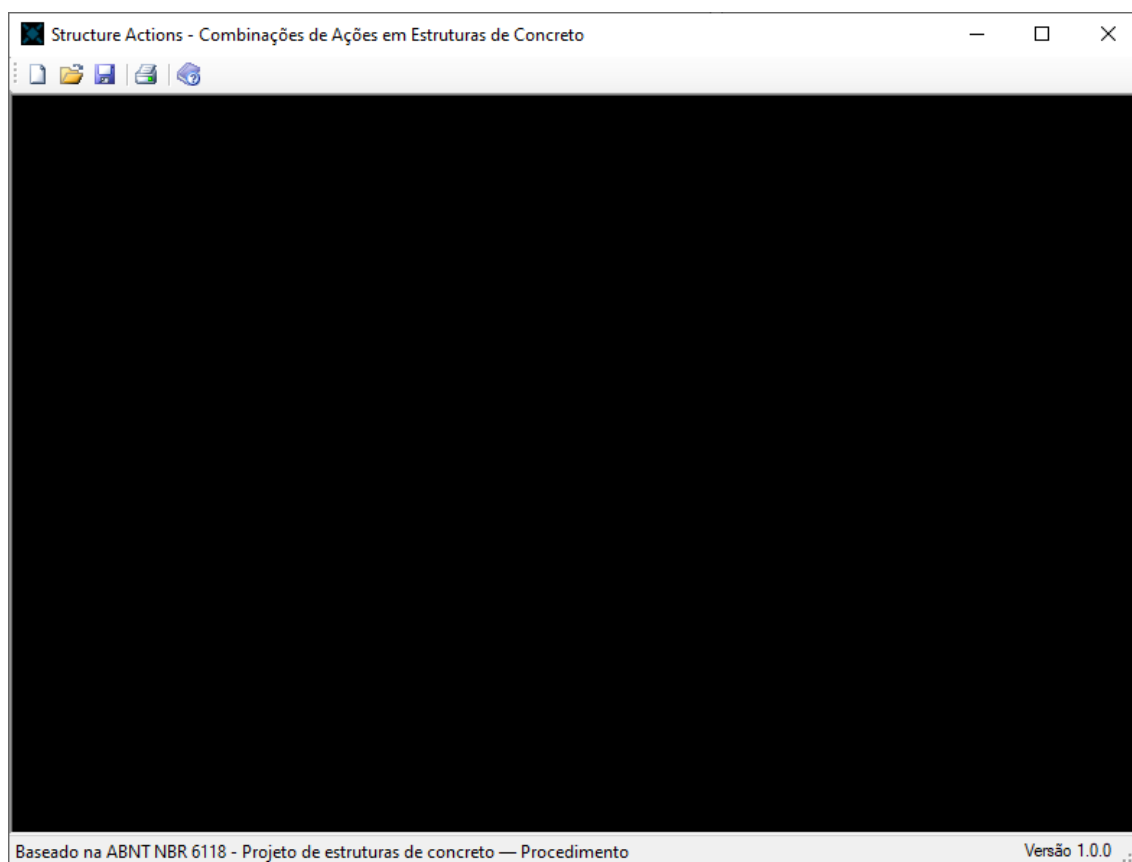


Fonte: Autores

Depois do Splash Screen é aberto a Home (tela principal). Toda a ferramenta funciona dentro dessa tela e é nela que se encontra os principais botões como: criar um projeto, importar dados, salvar os dados, imprimir o resultado, organizar as janelas (telas internas), ajuda, entre outros.

É possível criar um projeto do zero ou importar os dados com o arquivo CSV que será explicado na próxima seção. Quando for salvar os dados é necessário estar com um projeto aberto, entretanto, para imprimir o resultado tem que estar com a página do resultado aberta.

Figura 8 – Tela Home



Fonte: Autores

Ao clicar em importar (Abrir) ou apertar em Ctrl+O é aberta uma janela para a seleção de um arquivo CSV. Após selecionado, a ferramenta abre a janela “Criar Novo”: essa janela é do tipo diagnóstico que bloqueia o restante da ferramenta até que ela seja fechada pelo botão “X”, que cancela a operação ou pelo botão “AVANÇAR” que conclui a operação. O nome do arquivo é colocado no título da janela e nessa tela tem que ser selecionado o “Tipo de Concreto Estrutural” e “Combinações de Ações (ELU)” e, em seguida, clicar no botão “AVANÇAR”. Com isso a ferramenta faz uma validação de todos os dados para identificar possíveis

inconsistências de dados e caso encontre é aberto uma janela informando o que está errado e finaliza o processo de importação.

Quando importado um arquivo sem erro a ferramenta abre a janela com a lista de ações que será explicada mais a diante. É possível evitar a janela “Criar Novo” inserindo a sigla do “Tipo de Concreto Estrutural” e “Combinações de Ações (ELU)” no nome do arquivo da seguinte forma:

<nomedeidentificacao>\_<SiglaTipodeConcretoEstrutural>\_<SiglaCombinacaoAcaoELU>.csv

Para o caso do “Tipo de Concreto Estrutural” de “Concreto Armado (CA)” e “Combinações de Ações (ELU)” “Normais (NO)” o nome do arquivo ficará: “edificio\_CA\_NO.csv”.

Figura 9 – Janela Criar Novo

Fonte: Autores

Algo parecido ocorre ao clicar em novo ou ao apertar em Ctrl+N na tela de Home, porém não abre uma janela de seleção de arquivos, o título permanece com o texto “Criar Novo” e não é feita nenhuma validação, pois não tem dados para ser avaliados.

O “Tipo de Concreto Estrutural” serve para definir quais as combinações do ELS serão calculadas, conforme a norma. Para as “Combinações de Ações (ELU)” além de saber qual a combinação será utilizada também servirá para definir os coeficientes de ponderação. Opções:

- Tipo de Concreto Estrutural:
  - Concreto Simples (CS);
  - Concreto Armado (CA);
  - Concreto Protendido Nível 1 (Protensão Parcial - PP);
  - Concreto Protendido Nível 2 (Protensão Limitada - PL);
  - Concreto Protendido Nível 3 (Protensão Completa - PC).

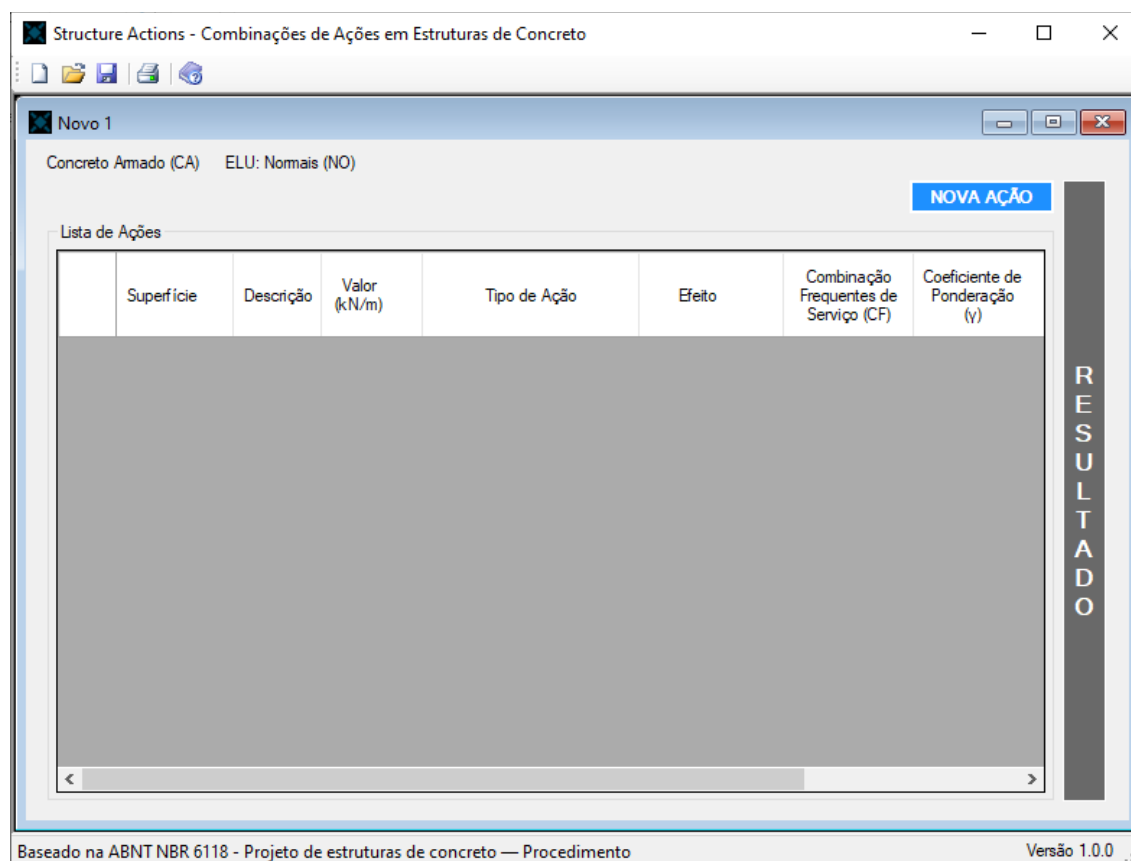
- Combinações de Ações (ELU):
  - Normais (NO);
  - Especiais ou de Construção (EC);
  - Excepcionais (EX).

Após a configuração das informações iniciais é aberto a janela de lista de ações. Nessa janela são informadas as configurações anteriores, com um botão chamado “NOVA AÇÃO” para criar uma ação, uma tabela para mostrar as ações inseridas e um botão chamado “RESULTADO”.

Na tabela são demonstrados campos fixos: Superfície, Descrição, Valor, Tipo de Ação, Efeito, Coeficiente de Ponderação ( $\gamma$ ), Fator de Combinação ( $\psi_0$ ), Fator de Redução ( $\psi_1$ ) e Fator de Redução ( $\psi_2$ ). Também existem os campos variáveis que apenas se mostram de acordo com o “Tipo de Concreto Estrutural” que são: Combinação Quase Permanentes de Serviço (CQP), Combinação Frequentes de Serviço (CF) e Combinação Raras de Serviço (CR).

Ao clicar na tabela em uma linha de uma ação existente, uma janela de inserção de ação se abre. As mudanças em tal janela são: em vez do botão “SALVAR” existe um botão “ALTERAR” e um botão “DELETAR” aparece para que a ação seja excluída.

Figura 10 – Janela de Lista de Ações



Fonte: Autores

Quando o botão “NOVA AÇÃO” é pressionado, é aberta uma janela do tipo diagnóstico, com todas as informações que são necessárias para o cálculo e para separar os dados por superfície (elemento construtivo). Para um melhor entendimento segue abaixo a importância de cada dado:

- Descrição: A descrição serve para a identificação das ações, em uma mesma superfície não podem existir descrições iguais, o valor informado deve ser alfanumérico de no mínimo 5 (cinco) caracteres;
- Valor: É o valor numérico do esforço que a ação transmite para a superfície em kN/m;
- Tipo de Ação: Deve ser checada umas das opções de acordo com a ação que está sendo configurada, pois esse valor é utilizado juntamente com outros dados para definir o valor do coeficiente de ponderação ( $\gamma$ ). As opções são as seguintes:
  - Permanentes:
    - Gerais (PG);
    - Pretensão (PP);
    - Recalques de apoio e retração (PR).
  - Variáveis:
    - Gerais (VG);
    - Temperatura (VT).
  - Excepcional:
    - Excepcional (EX).
- Efeito: Informado se a ação permanente é “Desfavorável (D)” ou “Favorável (F)”, é utilizado para identificar o fator de ponderação;
- Superfície: Tem duas opções, primeiro criar uma superfície nova ou selecionar uma superfície já existente, todas as contas são feitas por superfície, o dado informado deve ser um valor alfanumérico de no mínimo 5 caracteres.
- Combinações de Ações – ELU: Nessa parte devem ser informadas as combinações do Estado-Limite de Serviço que a ação faz parte, são exibidas as combinações que fazem parte do “Tipo de Concreto Estrutural” de acordo com a norma; A janela do modelo para as ações permanentes pode ser visualizada na figura a seguir:

Figura 11 – Janela de Adição e Edição das Ações

A janela 'Nova Ação' apresenta os seguintes campos e opções:

- Dados:**
  - Descrição: Campo de texto.
  - Valor: Campo de texto com unidade  $\text{kN/m}$ .
  - Tipo: Menu suspenso com a opção 'Permanente Geral (PG)' selecionada.
  - Efeito: Menu suspenso com a opção 'Desfavorável (D)' selecionada.
- Superfície:** Campo de texto rotulado 'Nova Superfície'.
- Combinações de Serviço - ELS:**
  - Checkbox 'Frequentes (CF)' selecionado.

Botões: CANCELAR (laranja) e INSERIR (azul).

Fonte: Autores

As ações variáveis necessitam de mais informações, porém o fator de combinação e os fatores de redução, não necessitam do efeito. Dessa forma a janela abre mais uma opção em que deve informar a partir de uma tabela a categoria que a ação variável faz parte. Para as ações variáveis gerais existem as três opções de carga accidental e a opção do vento, quando é uma ação variável de temperatura só exibe a opção de temperatura. É possível ver abaixo a figura que demonstra a opção variável geral selecionada.

Figura 12 – Janela de Configuração das Ações – Ações Variáveis

A janela 'Nova Ação' apresenta os seguintes campos e opções:

- Dados:**
  - Descrição: Campo de texto.
  - Valor: Campo de texto com unidade  $\text{kN/m}$ .
  - Tipo: Menu suspenso com a opção 'Variável Geral (VG)' selecionada.
- Superfície:** Campo de texto rotulado 'Nova Superfície'.
- Combinações de Serviço - ELS:**
  - Checkbox 'Frequentes (CF)' selecionado.

**Fator de Combinação e Fatores de Redução**

	Sigla	Descrição	Fator de Combinação ( $\psi_0$ )	Fator de Redução ( $\psi_1$ )	Fator de Redução ( $\psi_2$ )
▶	a1	Cargas accidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)	0,5	0,4	0,3
	a2	Cargas accidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)	0,7	0,6	0,4
	a3	Cargas accidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
	v	Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

Botões: CANCELAR (laranja) e INSERIR (azul).

Fonte: Autores

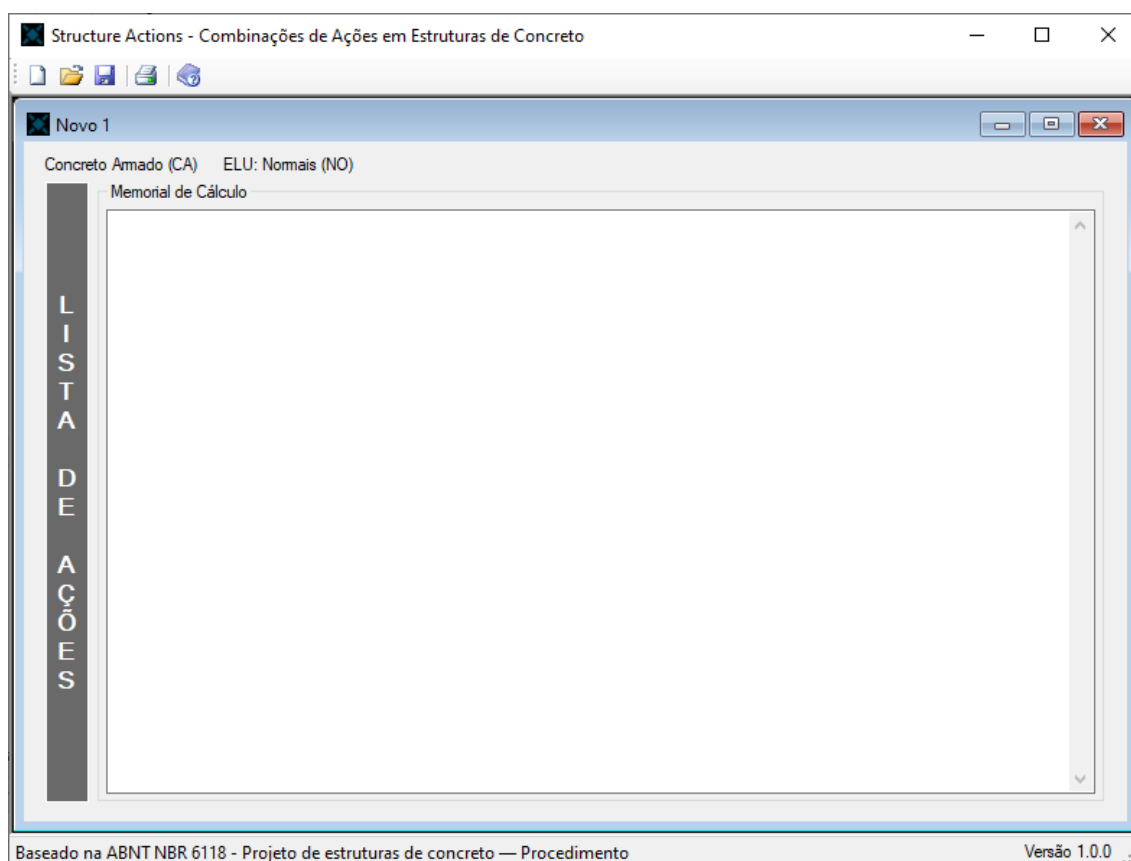


Quando se tenta inserir ou editar uma ação é feita uma validação dos dados, em que é verificado se existe alguma configuração que não está de acordo com a norma ou com a configuração inicial.

Após inserir todas as informações, pode ser visualizado o resultado com o memorial de cálculo ao clicar no botão “RESULTADO”, na janela de lista de ações. Nesse momento é feita uma verificação de inconsistência de dados por superfície e somente se tudo estiver em concordância é possível ver o resultado.

Para as combinações ELU é validado se existe no mínimo uma ação direta permanente e uma ação direta variável, no caso das combinações do ELS é verificado se existe uma ação permanente e uma variável, independentemente se o tipo é direto ou indireto. Quando selecionado a combinação ELU “Excepcionais (EX)” é verificado se existe uma ação deste tipo.

Figura 13 – Janela de Resultado



Fonte: Autores

## 9.2 ARQUIVO DE IMPORTAÇÃO

O arquivo de importação é do tipo CSV que significa “*comma-separated-values*” (valores separados por vírgulas), porém na ferramenta foi utilizado uma variação desse tipo o

qual em vez de usar vírgula é utilizado o ponto e vírgula (;). Esse tipo de arquivo é utilizado para transferência de informações entre sistemas distintos, sabendo-se a estrutura dos dados qualquer sistema consegue interpretar, pois sua leitura é como um arquivo de texto simples.

O Excel consegue gerar arquivos CSV, para o tipo separado por ponto e vírgula (;) deve-se “Salvar uma Cópia” e selecionar a opção "CSV (Macintosh) (\*.csv)" ou "CSV (MS-DOS) (\*.csv)". Além de gerar, o Excel consegue alterar esse tipo de arquivo, tornando a utilização desse arquivo muito versátil por muitas pessoas que sabem utilizar o Excel. A seguir, um exemplo básico de CSV:

Figura 14 – Exemplo de Arquivo CSV no Excel

	A	B
1	Integrante	Funcao
2	JOSE AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR	Desenvolvimento
3	LUCAS DE OLIVEIRA NUNES	Especificacao

Fonte: Autores

Figura 15 – Exemplo de Arquivo CSV no Editor de Texto

```
Integrante;Funcao
JOSE AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR;Desenvolvimento
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES;Especificacao
```

Fonte: Autores

Para a Ferramenta entender o arquivo de importação é preciso que na primeira linha tenha um cabeçalho com os seguintes campos: “superfície”, “tipo”, “descrição”, “valor”, “efeito”, “fator”, “cqp”, “cf” e “cr”, já nas demais linhas, as informações correspondentes de cada ação, sendo uma por linha. Basicamente o arquivo de importação salva todas as ações a partir de uma planilha orientada, dessa forma isso ajuda o usuário a inserir de forma mais prática as ações.

A seguir a explicação de cada um dos itens do cabeçalho:

- superfície – Informa a superfície que a ação está situada, é um valor alfanumérico de no mínimo 3 caracteres;
- tipo – Informa o tipo de ação, um dos tipos a seguir:
  - PG – Permanente Geral;

- PP – Permanente de Protensão (Utilizado quando o Tipo de Concreto Estrutural for um dos 3 níveis de Concreto Protendido);
- PR – Permanente de Recalques de Apoio e Retração;
- VG – Variável Geral;
- VT – Variável de Temperatura;
- EX – Excepcional (Utilizado somente para as Combinações Excepcionais do ELU).
- descricao – Informa uma descrição para identificação da ação, é um valor alfanumérico de no mínimo 5 caracteres;
- valor – Informa o valor da força atuante na estrutura em kN/m, é um valor numérico;
- efeito – Serve para identificar o fator de ponderação da ação permanente, utilize um dos tipos a seguir:
  - D – Desfavorável;
  - F – Favorável;
  - OBS.: Vazio para as ações variáveis.
- fator – Serve para identificar os fatores de combinação e redução para as ações variáveis, utilize um dos tipos a seguir:
  - Para VG – Variável Geral:
    - A1 – “Cargas acidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)”;
    - A2 – “Cargas acidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)”;
    - A3 – “Cargas acidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens”;
    - V – “Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral”.
  - Para VT – Variável de Temperatura:

- T – “Temperatura: Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local “.
  - OBS.: Vazio para as ações permanentes.
- cqp: Informa se a ação é para ser utilizada no cálculo de “Combinação quase permanente”, somente para “Concreto Protendido Nível 1 (Protensão Parcial - PP)”. Utilize um dos tipos a seguir:
  - S – Sim;
  - N – Não;
  - OBS.: Vazio para os demais Tipo de Concreto Estrutural.
- cf: Informa se a ação é para ser utilizada no cálculo de “Combinação frequente”, para todos os Tipos de Construção Estrutural com exceção da “Concreto Simples (CS)”. Utilize um dos tipos a seguir:
  - S – Sim;
  - N – Não;
  - OBS.: Vazio para os demais Tipo de Concreto Estrutural.
- cr: Informa se a ação é para ser utilizada no cálculo de “Combinação rara”, somente para “Concreto Protendido Nível 3 (Protensão Completa - PC)”. Utilize um dos tipos a seguir:
  - S – Sim;
  - N – Não;
  - OBS.: Vazio para os demais Tipo de Concreto Estrutural.

A seguir exemplo do cabeçalho no Excel e no Editor de Texto:

Figura 16 – Exemplo do Cabeçalho no Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	superficie	tipo	descricao	valor	efeito	fator	cqp	cf	cr
2									

Fonte: Autores

Figura 17 – Exemplo do Cabeçalho no Editor de Texto

```
superficie;tipo;descricao;valor;efeito;fator;cqp;cf;cr
```

Fonte: Autores

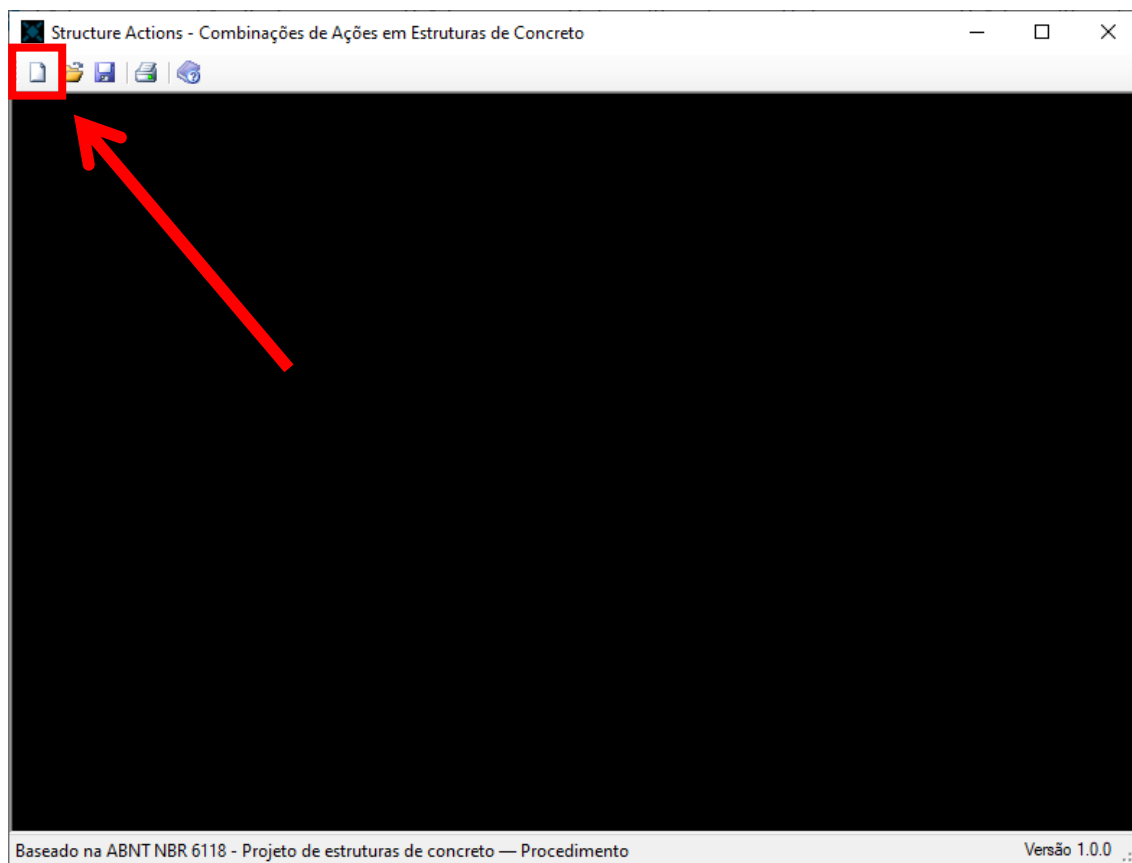
## 10 SIMULAÇÃO DE USO

A simulação consiste em uma Viga de “Concreto Armado” que será calculada no para o ELU como “Normal”, iremos usar os seguintes valores hipotéticos:

- Peso Próprio de 24,06 kN/m;
- Sobrecarga de 7,48 kN/m;
- Vento de 2,53 kN/m;
- Carga Acidental 88,79 kN/m.

Em primeiro lugar, é necessário apertar o ícone “Novo (Ctrl+N)”:

Figura 18 – Simulação – Criar Novo



Fonte: Autores

Será aberta a janela a seguir e nela escolheremos o Tipo de Concreto Estrutural como “Concreto Armado (CA)” e a Combinação de Ações (ELU) como “Normais (NO)”, conforme o nosso exemplo. Com isso clicaremos em “AVANÇAR”.

Figura 19 – Simulação – Definições Iniciais

**Criar Novo**

Tipo de Concreto Estrutural  
Concreto Armado (CA)

Combinações de Ações (ELU)  
Normais (NO)

**AVANÇAR**

Fonte: Autores

A próxima janela aberta mostra a lista de ações, no começo vazia pois nenhuma ação ainda foi inserida. Para inserir uma nova ação, clicaremos no botão “NOVA AÇÃO”.

Figura 20 – Simulação – Lista de Ações

Structure Actions - Combinações de Ações em Estruturas de Concreto

Novo 1

Concreto Armado (CA) ELU: Normais (NO)

**NOVA AÇÃO**

Lista de Ações

Superfície	Descrição	Valor (kN/m)	Tipo de Ação	Efeito	Combinação Frequentes de Serviço (CF)	Coeficiente de Ponderação (γ)

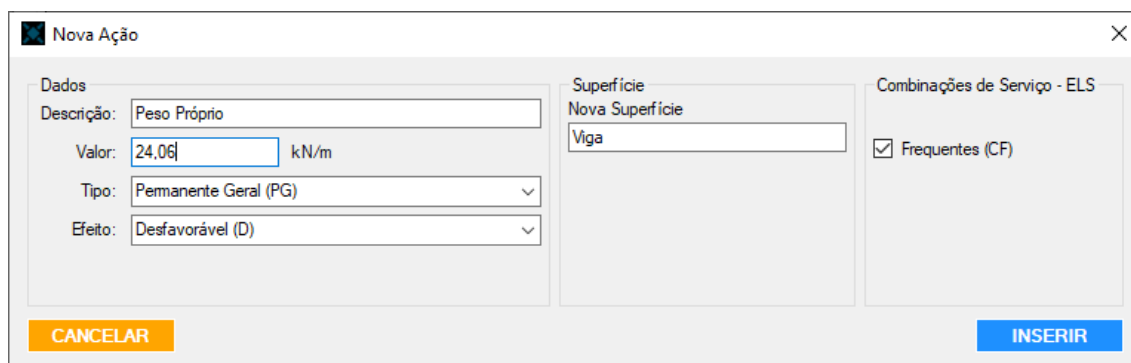
RESULTADO

Baseado na ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento Versão 1.0.0

Fonte: Autores

Com isso vamos inserir nossas ações, a primeira que iremos inserir é o Peso Próprio, nós atribuímos uma descrição, inserimos o valor, definimos o tipo e efeito, informamos a superfície e a Combinação de Serviço (ELS). Por fim, clicamos em “INSERIR”.

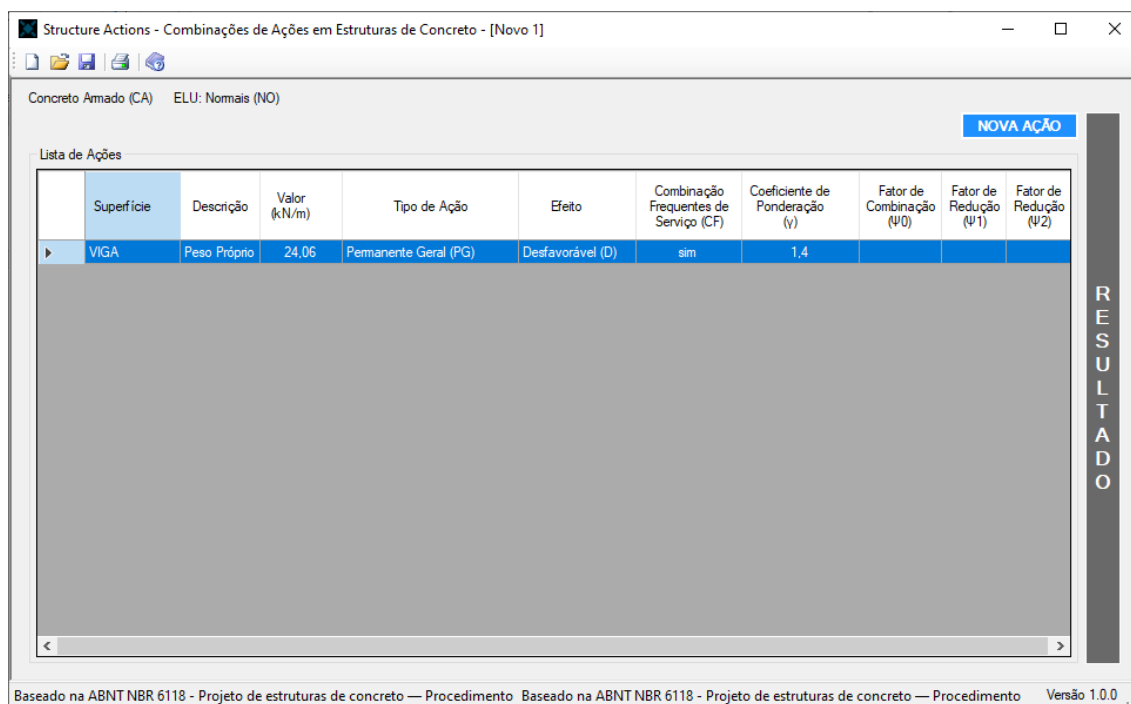
Figura 21 – Simulação – Inserção do Peso Próprio



Fonte: Autores

Na próxima janela é possível ver o Peso Próprio na lista de ações, nesse momento podemos visualizar que o Coeficiente de Ponderação ( $\gamma$ ) foi atribuído:

Figura 22 – Simulação – Lista de Ações com o Peso Próprio



Superfície	Descrição	Valor (kN/m)	Tipo de Ação	Efeito	Combinação Frequentes de Serviço (CF)	Coeficiente de Ponderação ( $\gamma$ )	Fator de Combinação ( $\psi_0$ )	Fator de Redução ( $\psi_1$ )	Fator de Redução ( $\psi_2$ )
VIGA	Peso Próprio	24,06	Permanente Geral (PG)	Desfavorável (D)	sim	1,4			

Fonte: Autores

O processo é repetido para as demais ações, configurando todas as informações de acordo com a ação que está sendo cadastrada, para facilitar após a primeira inserção é mostrado uma lista de superfície.

Figura 23 – Simulação – Inserção da Sobrecarga

**Nova Ação**

Dados

Descrição: Sobrecarga

Valor: 7,48 kN/m

Tipo: Permanente Geral (PG)

Efeito: Desfavorável (D)

Superfície

Nova Superfície

ou selecione uma superfície existente

VIGA

Combinações de Serviço - ELS

☒ Frequentes (CF)

CANCELAR INserir

Fonte: Autores

Figura 24 – Simulação – Inserção do Vento

**Nova Ação**

Dados

Descrição: Vento

Valor: 2,53 kN/m

Tipo: Variável Geral (VG)

Superfície

Nova Superfície

ou selecione uma superfície existente

VIGA

Combinações de Serviço - ELS

☒ Frequentes (CF)

Fator de Combinação e Fatores de Redução

	Sigla	Descrição	Fator de Combinação ( $\psi_0$ )	Fator de Redução ( $\psi_1$ )	Fator de Redução ( $\psi_2$ )
	a1	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)	0,5	0,4	0,3
	a2	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)	0,7	0,6	0,4
	a3	Cargas acidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
▶	v	Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

CANCELAR INserir

Fonte: Autores



Figura 25 – Simulação – Inserção da Carga Acidental

**Nova Ação**

Dados

Descrição: Carga Acidental

Valor: 88,79 kN/m

Tipo: Variável Geral (VG)

Superfície

Nova Superfície

ou selecione uma superfície existente

VIGA

Combinações de Serviço - ELS

☒ Frequentes (CF)

Fator de Combinação e Fatores de Redução

	Sigla	Descrição	Fator de Combinação ( $\Psi_0$ )	Fator de Redução ( $\Psi_1$ )	Fator de Redução ( $\Psi_2$ )
►	a1	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)	0,5	0,4	0,3
	a2	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)	0,7	0,6	0,4
	a3	Cargas acidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
	v	Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

**CANCELAR** **INSERIR**

Fonte: Autores

Após serem inseridas todas as ações, é possível visualizá-las cadastradas, com seus respectivos coeficientes e fatores. É possível alterar ou deletar uma ação clicando em cima dela na lista.

Figura 26 – Simulação – Lista de Ações Completa

Structure Actions - Combinações de Ações em Estruturas de Concreto - [Novo 1]

Concreto Armado (CA) ELU: Normais (NO)

**NOVA AÇÃO**

Lista de Ações

	Superfície	Descrição	Valor (kN/m)	Tipo de Ação	Efeito	Combinação Frequentes de Serviço (CF)	Coefficiente de Ponderação ( $\gamma$ )	Fator de Combinação ( $\Psi_0$ )	Fator de Redução ( $\Psi_1$ )	Fator de Redução ( $\Psi_2$ )
►	VIGA	Peso Próprio	24,06	Permanente Geral (PG)	Desfavorável (D)	sim	1,4			
	VIGA	Sobrecarga	7,48	Permanente Geral (PG)	Desfavorável (D)	sim	1,4			
	VIGA	Carga Acidental	88,79	Variável Geral (VG)	Desfavorável (D)	sim	1,4	0,5	0,4	0,3
	VIGA	Vento	2,53	Variável Geral (VG)	Desfavorável (D)	sim	1,4	0,6	0,3	0

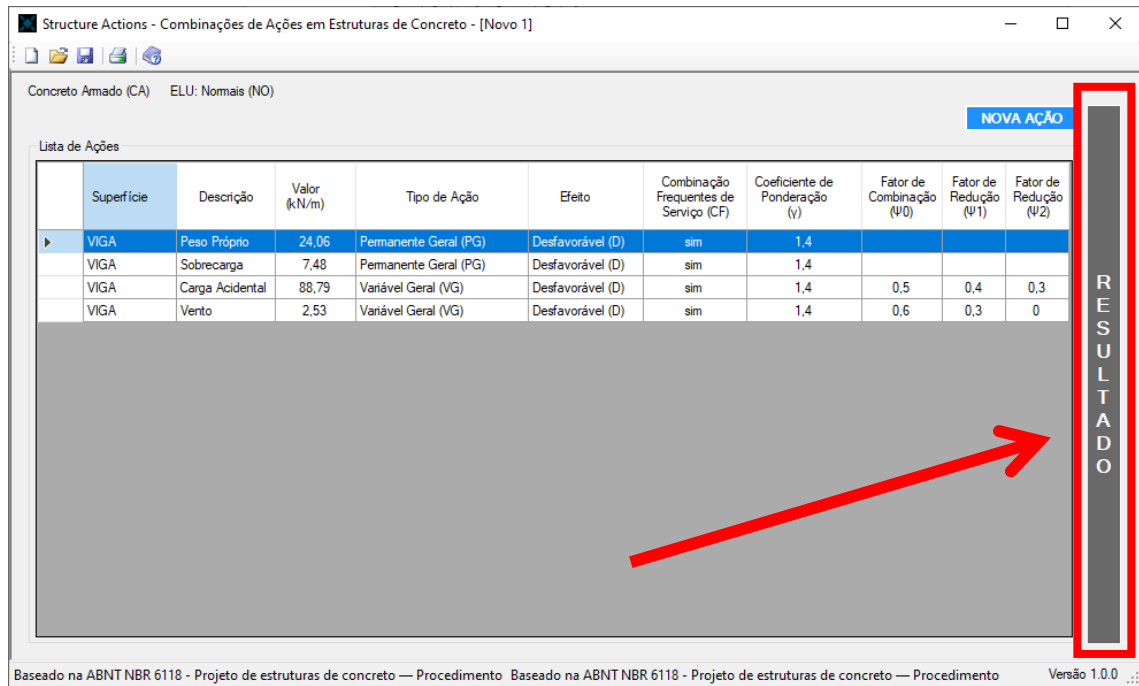
RESULTADO

Baseado na ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento Baseado na ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento Versão 1.0.0

Fonte: Autores

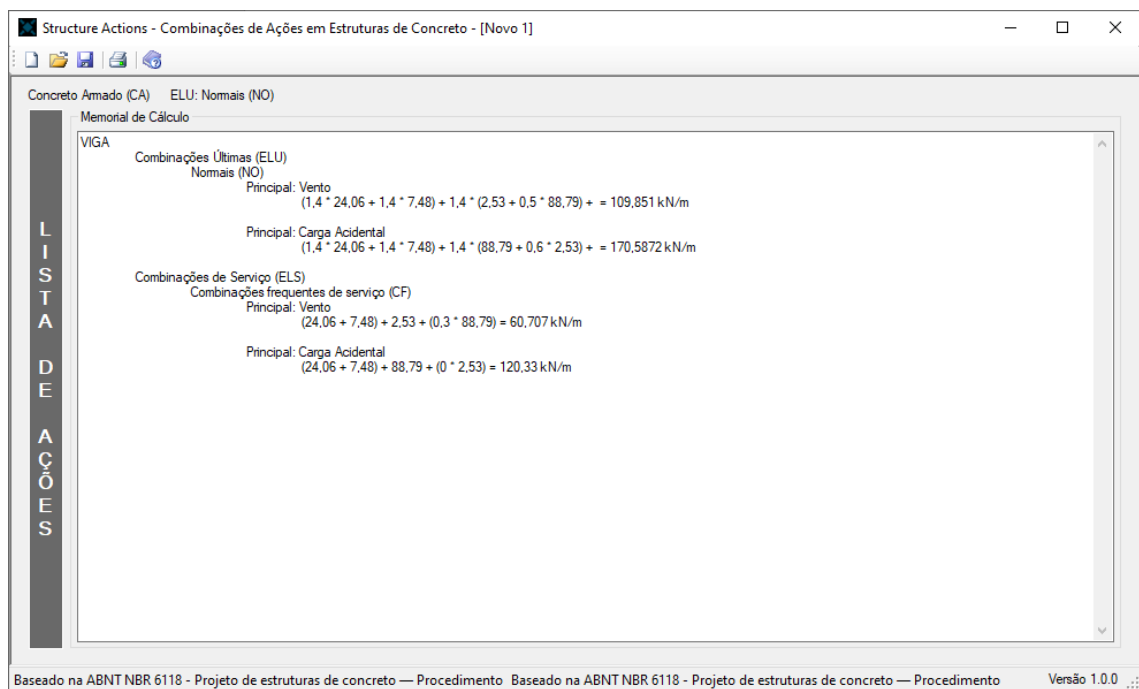
Com o cadastramento podemos gerar o resultado clicando no botão na lateral direita “RESULTADO”. A lista de ações será ocultada e o resultado será exibido, caso queira voltar para a lista de ações é só clicar no botão na lateral esquerda “LISTA DE AÇÕES”.

Figura 27 – Simulação – Botão para o Resultado



Fonte: Autores

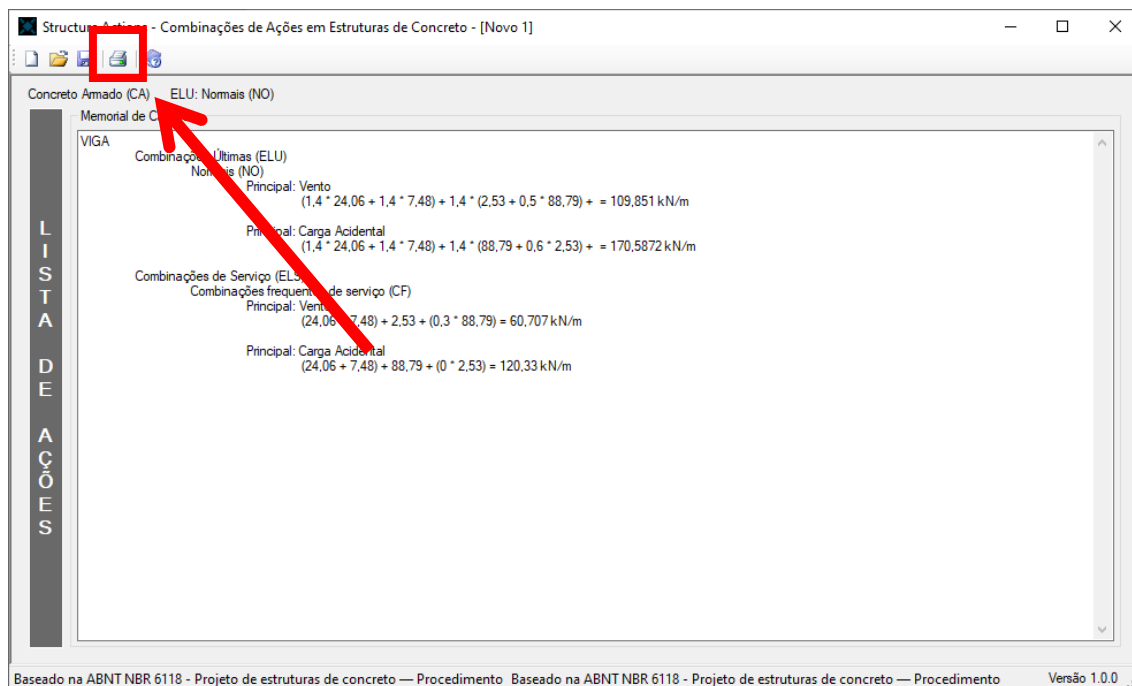
Figura 28 – Simulação – Resultado



Fonte: Autores

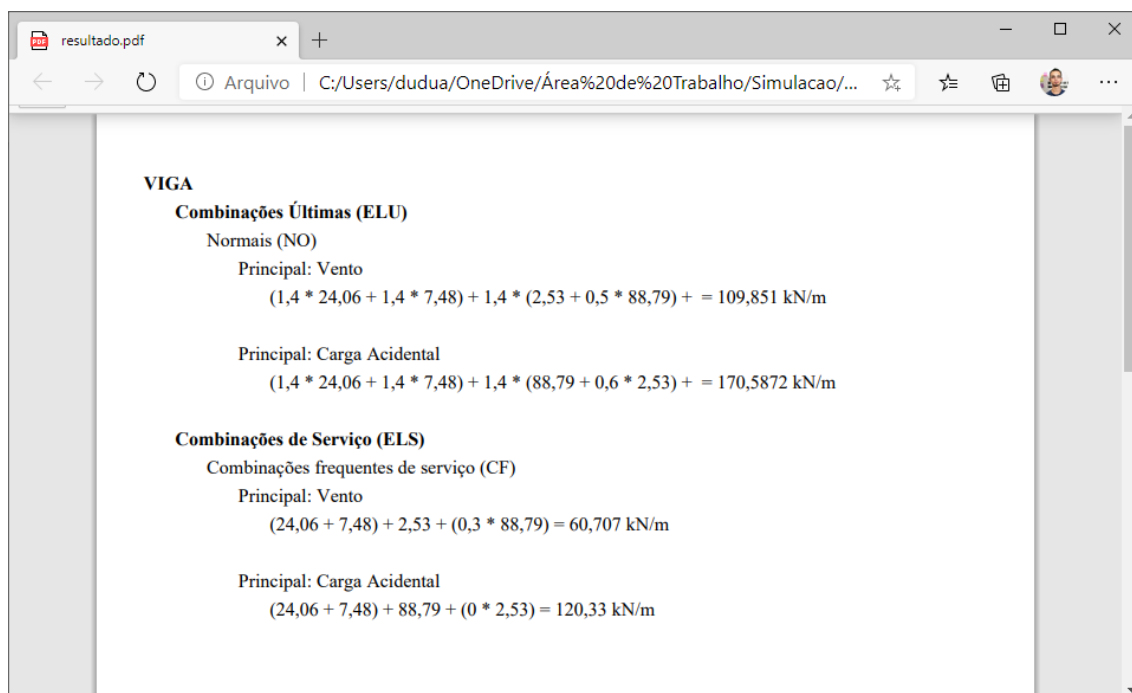
O resultado pode ser salvo no formato PDF, mas para isso é necessário clicar no ícone de “Gerar PDF”, informar o local onde quer salvar e clicar no botão “Salvar”. A ferramenta irá criar o PDF, quando ela finalizar o processo o PDF será aberto.

Figura 29 – Simulação – Gerar PDF



Fonte: Autores

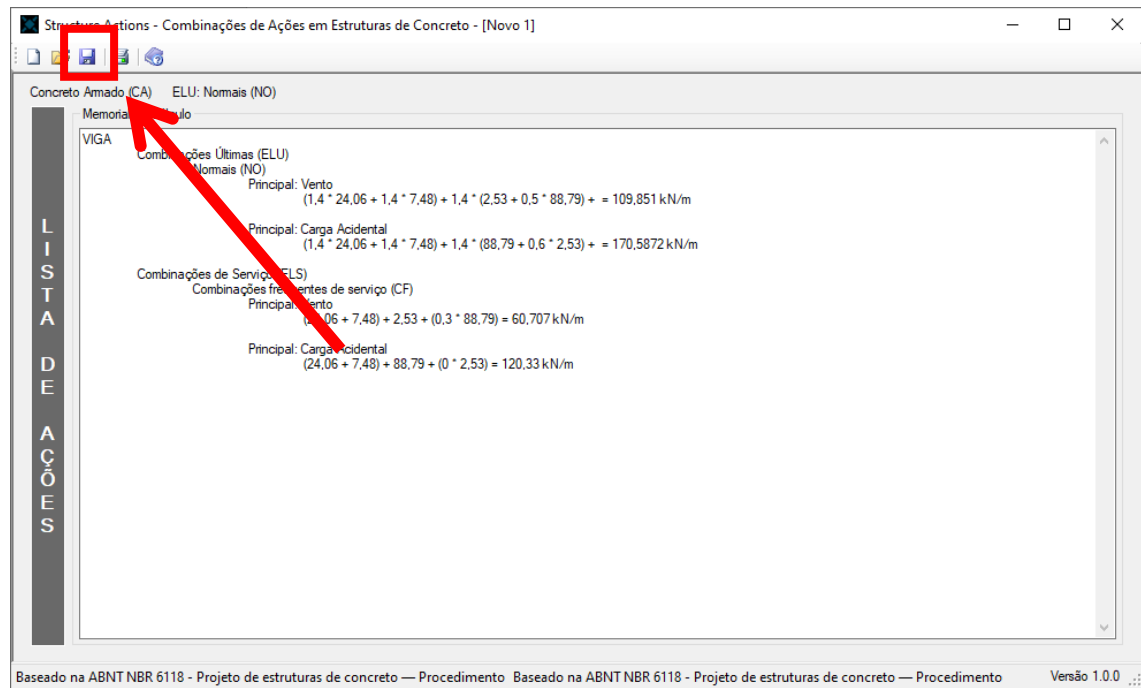
Figura 30 – Simulação – Visualização do PDF



Fonte: Autores

Também é possível salvar as ações no formato CSV (ponto e vírgula), para futuras correções e/ou ajustes. Esse modelo de arquivo pode ser editado no Excel ou em outras ferramentas, com isso se torna um jeito fácil de inserir as ações. Para salvar basta clicar no ícone “Salvar”, o mesmo processo de selecionar local de salvamento do PDF é válido para o CSV.

Figura 31 – Simulação – Salvar Ações



Fonte: Autores

Nas duas figuras a seguir podemos visualizar os dados no Excel e em um Editor de Texto.

Figura 32 – Simulação – CSV no Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	superficie	tipo	descricao	valor	efeito	fator	CQP	CF	CR
2	VIGA	pg	Peso Próprio	24,06	D			s	
3	VIGA	pg	Sobrecarga	7,48	D			s	
4	VIGA	vg	Vento	2,53	D	v		s	
5	VIGA	vg	Carga Acidental	88,79	D	a1		s	
6									
7									
8									

Fonte: Autores

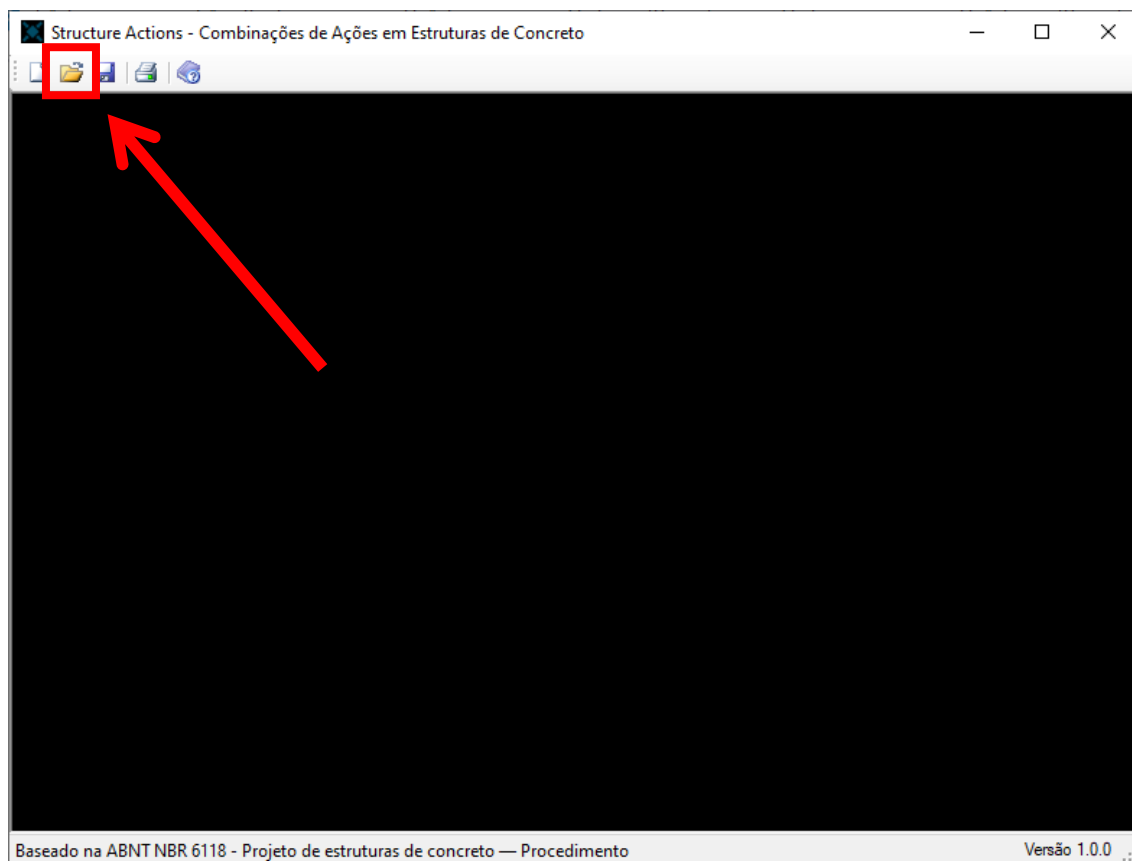
Figura 33 – Simulação – CSV no Editor de Texto

```
superficie;tipo;descricao;valor;efeito;fator;CQP;CF;CR  
VIGA;pg;Peso Próprio;24,06;D;;;s;  
VIGA;pg;Sobrecarga ;7,48;D;;;s;  
VIGA;vg;Vento ;2,53;D;v;;s;  
VIGA;vg;Carga Acidental ;88,79;D;al;;s;
```

Fonte: Autores

Para carregar as ações do arquivo CSV é necessário clicar no ícone “Abrir” e selecionar o arquivo com a lista de ações.

Figura 34 – Simulação – Abrir Arquivo CSV



Fonte: Autores

## 11 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da ferramenta computacional, conseguimos entender melhor todo o processo de avaliação de forças e de combinações que exigem um bom entendimento de como cada força age separadamente e combinadas uma com as outras com seus respectivos valores já majorados ou reduzidos, implicando que o usuário conheça a norma que rege todo o processo que é a NBR 6118.

Como todo processo da ferramenta possui uma linguagem simples, pode ser utilizado por pessoas tanto com conhecimentos computacionais, quanto por pessoas que não possuam tanta facilidade, tornando muito fácil trabalhar na ferramenta, pois a cada passo ela vai informando as inconsistências, erros e falta de informação de modo didático e simples.

Além de todos os ganhos para a engenharia com a criação da ferramenta computacional, ela poderá ser implementada em outras ferramentas como o BIM, mas para tal, é necessário alguns ajustes e testes que futuramente poderão ser incluídos, o que proporcionará um grande leque de opções para a engenharia, que ganhará ainda mais com esse novo recurso na ferramenta.

Com isso concluímos que a criação da ferramenta computacional será muito lucrativa para todos que a utilizarão na área de engenharia civil, que de algum modo necessitará desses cálculos para que sejam projetadas as estruturas de forma precisa, e que a ela contribuirá de algum modo para toda a população, que é o que buscamos como engenheiros civis.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 2014.

ARAÚJO, E. C. D. C# e Visual Studio. **Casa do Código**. Disponível em: <<https://www.casadocodigo.com.br/products/livro-c-sharp>>.

CAELUM. C# e Orientação a Objetos. **Caelum**. Disponível em: <<https://www.caelum.com.br/download/caelum-csharp-dotnet-fn13.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MACORATTI, J. C. C# - Classe base, classe derivada e alguns conceitos básicos - I. **Macoratti.net**. Disponível em: <[http://www.macoratti.net/18/09/c\\_base1.htm](http://www.macoratti.net/18/09/c_base1.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MACORATTI, J. C. O que significa Orientação a objetos? **Macoratti.net**. Disponível em: <[http://www.macoratti.net/oo\\_conc2.htm](http://www.macoratti.net/oo_conc2.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MACORATTI, J. C. Orientação a objetos : Conceitos Básicos. **Macoratti.net**. Disponível em: <[http://www.macoratti.net/net\\_oocb.htm](http://www.macoratti.net/net_oocb.htm)>. Acesso em: 12 maio 2020.

MICROSOFT. Visual Studio 2019. **Microsoft**, 2019. Disponível em: <<https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/vs/>>. Acesso em: 25 maio 2020.