

# REFORÇO ESTRUTURAL DE PILAR - ANÁLISE DE ENCAMISAMENTO: ESTUDO DE CASO EM ESCOLA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO BELMONTE – PE

## COLUMN STRUCTURAL REINFORCEMENT - JACKETING ANALYSIS: STUDY OF CASE IN THE MUNICIPAL SCHOOL OF SÃO JOSÉ DO BELMONTE – PE

Tais Gomes de Sousa<sup>1</sup>, Amâncio da Cruz Filgueira Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Integração do Sertão – FIS, Serra Talhada-PE, Brasil.

### Resumo

A realização do reforço estrutural vem com intuito de proporcionar a resistência requerida para uma estrutura comprometida, assim aumentando a sua durabilidade. Para execução do reforço estrutural existem várias técnicas, onde devem ser analisadas as causas e a necessidade da estrutura com o intuito de que seja adotada a mais adequada. Busca-se neste trabalho analisar o reforço estrutural do tipo encamisamento de pilar e suas variantes, afim de apresentar as características e analisar sua viabilidade. Foi realizado um estudo de caso do reforço estrutural da escola de São José do Belmonte-PE, demonstrando como foi realizada a execução do reforço por encamisamento de concreto e comparando esta metodologia com a técnicas de reforço estrutural com fibra de carbono. Levando em consideração a durabilidade, disponibilidade do material, mão de obra, arquitetura e comportamento mecânico. Em relação ao reforço estrutural ainda existe uma carência em parametrização e normalização onde esclareça a execução e elaboração de projetos. O reforço adotado na escola foi o que apresentou maior vantagens, pois é uma técnica conhecida, com disponibilidade mão de obra qualificada e materias de fácil acesso.

**Palavras-chave:** Encamisamento. Estrutura. Fibra de carbono. Reforço estrutural.

### Abstract

The realization of structural reinforcement is intended to provide the required strength for a compromised structure, thus increasing its durability. For the execution of the structural reinforcement, there are several techniques, where the causes and the necessity of the structure must be analyzed in order to adopt the most adequate one. The aim of this work is to analyze the structural reinforcement of the column casing type and its variants, in order to present the characteristics and analyze its viability. A case study of the structural reinforcement of the school in São José do Belmonte-PE was carried out, demonstrating how the execution of the reinforcement by concrete casing was carried out and comparing this methodology with the techniques of structural reinforcement with carbon fiber. Taking into account durability, material availability, workmanship, architecture and mechanical behavior. In relation to structural reinforcement, there is still a lack of parameterization and standardization that clarify the execution and elaboration of projects. The reinforcement adopted at the school was the one with the greatest advantages, as it is a known technique, with availability of qualified labor and easily accessible materials.

**Keywords:** Jacking. Structure. Carbon fiber. Structural reinforcement.

## Introdução

O ramo da construção civil tem crescido, surgindo assim a preocupação com a escassez de recursos e a necessidade de redução dos impactos no meio ambiente, trazendo a importância da durabilidade das construções, com a evolução do mercado surgem novas tecnologias que viabilizaram os processos construtivos e aumentaram a vida útil das construções. (COUTO, 2017).

Ao longo dos anos as estruturas das construções sofrem deformações e danos, desta maneira, por vezes serão necessárias intervenções, visando aumentar a sua durabilidade sendo necessária a realização de recuperação ou reforço. A recuperação acontece quando apresenta a necessidade de fazer reparos nestes elementos que apresentaram modificações por meio de ações físicas, químicas ou aumento em solicitações (REIS, 2001). O reforço é uma intervenção no elemento que possibilita a estrutura de ampliar a sua capacidade de receber carga. Podem ser necessários devido problemas no dimensionamento, execução, matéria prima ou modificações na estrutura (ZUCCHI, 2015).

Neste presente trabalho foi realizado um estudo de caso da execução do reforço estrutural realizado na escola de São José do Belmonte-PE, comparando com o reforço estrutural em concreto armado com fibra de carbono. É de suma importância a verificação dos cálculos estruturais para a realização da nova estrutura de reforço, após a realização dos cálculos pode-se escolher a forma mais adequada de execução, visando a melhor eficiência (ARALDI, 2013).

Para elaboração e execução é preciso conhecer o funcionamento dos materiais e a sua aplicação correta, para que haja uma ligação entre o elemento estrutural antigo com o reforço executado. Conhecendo as propriedades de deformação de cada um dos materiais envolvidos, assim como os mecanismos que reagem a sua interação obtendo a deformação do conjunto (SUDANO, 2010).

O desafio do reforço estrutural é manter o comportamento monolítico da estrutura de forma que a carga seja distribuída uniformemente. A escolha do tipo de reforço e a maneira que foi executado influencia no desempenho final. Nesse cenário justifica-se o estudo da temática pela falta de parâmetros adequados obtidos através de estudos sobre o comportamento estrutural dos elementos que sofrem por esse acréscimo na sua seção e pela inexistência de normatização que oriente as formas de execução do reforço estrutural e os materiais utilizados. É importante o domínio dessas técnicas, pois é de interesse social e econômico a aprimoração desse conhecimento, tendo em vista a obtenção da confiabilidade da aplicação do mesmo, proporcionando segurança e durabilidade das estruturas.

## REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES COM ENCAMISAMENTO

Com a realização do confinamento o concreto apresenta um ganho significativo de ductibilidade e resistência (CARRAZEDO, 2002). O encamisamento de pilar em concreto é uma técnica bastante corriqueira nas construções, pois o concreto é considerado um material de fácil execução e economicamente viável, no entanto, o aumento da seção pode alterar a arquitetura (ZUCCHI, 2015). É realizada a adição da armadura na estrutura antiga, executando uma nova concretagem da estrutura. O aço é o material responsável para resistir aos esforços de tração que ocorre através da expansão lateral do pilar antigo (EDWARDS (1998), *apud* SUDANO (2010)).

Para a realização da concretagem desse elemento são necessárias técnicas para melhorar a aderência do concreto novo com o antigo. Outro fator que interfere na qualidade do encamisamento é a execução. A presença de espaços vazios entre as estruturas pode comprometer o reforço, além disso, o concreto pode apresentar fissuras causando comprometimento da armadura (SUDANO, 2010).

A durabilidade é a capacidade da estrutura em resistir às influências do meio ambiente que foram previstas no momento da elaboração do projeto (ABNT NBR 6118, 2014). Para escolha do reforço devem ser levantadas as condições que o elemento pode sofrer, visando a

durabilidade e segurança, considerando a resistência, desempenho, equipamentos, material, mão de obra e preparação da superfície para a sua elaboração e execução.

## ENCAMISAMENTO COM FIBRA DE CARBONO

A utilização de fibras vem auxiliar no ganho de resistência. Para aplicação desse método temos a utilização de fibra de carbono, fibra de vidro e fibra de aramida. O confinamento do concreto com a fibra de carbono é de fácil aplicação, porém é necessário o conhecimento do comportamento e do dimensionamento da fibra com o pilar comprometido (SUDANO, 2010). O uso da fibra vem para prevenir a deterioração do concreto devido à corrosão da armadura e recuperar as estruturas que apresenta algum dano. As principais são aquelas formadas pela composição de dois ou mais matérias, de forma que juntos apresentem características mecânicas distintas do individual (ARALDI, 2013). A técnica com compósitos de reforço com fibra apresenta vantagens sobre a técnica de reforço em concreto, como a facilidade execução e rapidez (CARRAAZEDO, 2002).

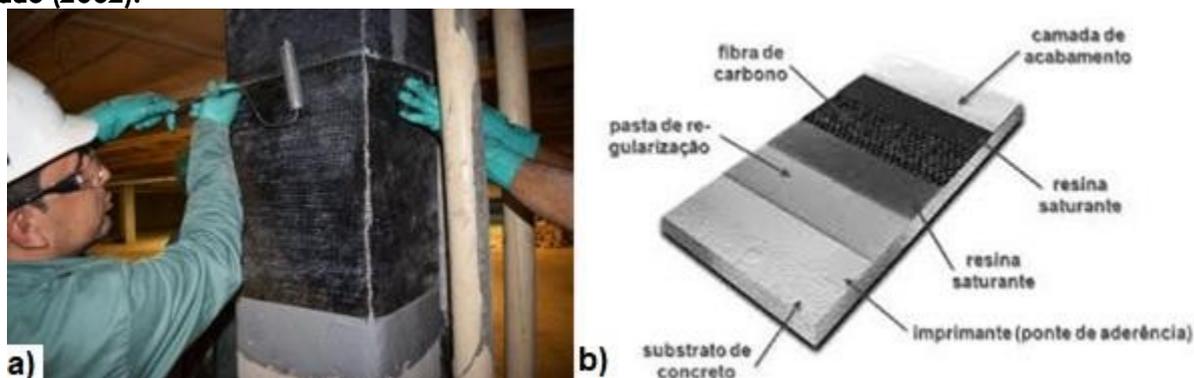
## PREPARO PARA EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL POR ENCAMISAMENTO EM PILAR

Para a realização do reforço são utilizadas técnicas para melhorar a aderência, a mais utilizada é a escarificação da superfície do pilar, onde está descascada, criando uma área de contato. Após a realização da escarificação do pilar, criam-se pontes de aderência, para que haja união entre os concretos. Em caso de necessidade de maior espessura, pode se remover parte do cobrimento do pilar antigo, possibilitando maior área de contato com seções (CÁNOVAS 1988). A limpeza da superfície tem como objetivo garantir que não haja material pulverulento que crie uma zona de aderência na região em que precisa ser reparado (MARQUES, 2015).

Para a implantação do encamisamento em concreto é realizada com a adição da armadura e para a sua fixação é necessária a amarração da estrutura, realizados furos na fundação e preenchido com epóxi que atua com polimerização de endurecimento por calor contendo um ou mais grupos epoxídicos, curado através de reações com fenóis, amins polifuncionais, anidridos e ácidos carboxílicos (MACHADO, 2002).

Para o encamisamento com fibra de carbono deve ser realizada a aplicação do adesivo epóxi sobre a superfície de concreto e colocadas as mantas da fibra, que tem a finalidade de transferir os esforços da estrutura para o compósito (ZUCCHI, 2015). O mesmo explica que para melhorar a propriedade adesiva da superfície para receber o adesivo, são utilizados produtos para eliminar pequenas irregularidades na superfície, evitando assim, que o ar fique aprisionado entre a manta e o substrato. A Figura 1 mostra a aplicação da manta de carbono utilizando o rolo para a fixação e retirada de ar. Na Tabela 1 serão expostos vantagens e desvantagens dos tipos de reforços por encamisamentos abordados neste trabalho.

Figura 1- a) Aplicação da manta de fibra de carbono e b) Preparo da superfície. Fonte: Treinotec engenharia (2021) e Machado (2002).



**Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de reforços por encamisamento do tipo de concreto armado e fibra de carbono.**

| Tipo de Reforço  | Vantagens   | Desvantagens   |
|------------------|---|--|
| Concreto Armado  | Materiais de uso comum e fácil acesso.<br>Técnica corriqueira.  | Interferência na arquitetura.<br>Cuidado com aderência das camadas.<br>Suspensão do uso da estrutura para execução do reforço. |
| Fibra de Carbono | Resistencia a tração elevada.<br>Baixo peso específico.<br>Elevado modulo de elasticidade.<br>Para aplicação de cargas cíclicas.<br>Imunes à corrosão.<br>Maior quantidade de produtores.<br>Opção de se usar os laminados. | Custo elevado.   |

Fonte: Adaptado Zucchi (2015).

## Método

Foi realizado um comparativo através de revisão bibliográfica de artigos e dissertações de mestrado entre as técnicas de reforço estrutural com encamisamento de concreto e o reforço estrutural com fibra de carbono, afim de demonstrar qual a melhor técnica a ser utilizada no estudo de caso. Na comparação entre os reforços estruturais foi utilizada uma tabela demonstrando o comportamento mecânico, disponibilidade dos materiais, mão de obra, durabilidade e arquitetura, que será quantificada através de pontuações de fatores que qualificarão cada processo de maneira crescente para uma situação mais favorável.

Para a análise de comparação entre os reforços estudados, foi realizado o método de pontuações para avaliar o nível de satisfação de acordo com o desempenho de cada um dos elementos para os fatores a serem avaliados, com critério semelhante ao que é adotado pela ISO 15686-1 (2011) para o planejamento da vida útil sobre o modo de atuar os agentes de degradação dos materiais e componentes. De maneira que o valor centra valerá 1,0 e haverá uma variação de 20% pra mais e para menos. Para o comparativo será classificado com pontuação de 0,8 a 1,2 sendo: satisfatório 1,2, regular 1, insatisfatório 0,8.

Para a realização da qualificação das pontuações serão feitas com base na bibliografia, e a metodologia adotada para quantificar o resultado de cada uma das técnicas será por média aritmética.

Para o estudo de caso foi realizada inspeção predial no local, através de uma vistoria detalhada das condições da edificação e sua estrutura. Esta inspeção foi classificada como "inspeção nível 01", que é representada pela análise expedita dos fatos e sistemas construtivos vistoriados, de acordo com a Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2012) e a norma de Manutenção em Edificações ABNT NBR 5674 (2012).

## Resultados e Discussão

### ESTUDO DE CASO

No presente trabalho foi realizado um estudo de caso na construção de uma escola na cidade de São José do Belmonte no sertão de Pernambucano, a escola tem um terreno com área de 4.551,20 m<sup>2</sup>, com área da taxa de ocupação de 2.587,98 m<sup>2</sup> e de área construída com uma total de 4.081,85 m<sup>2</sup>. Sua construção iniciou em 17 de fevereiro de 2020 e sua conclusão em 31 de outubro de 2021 e atenderá alunos do município.

Com a construção da escola em andamento, notou-se a necessidade de uma estrutura mais robusta para suportar um auditório de vão livre que fica no primeiro pavimento e uma estrutura de cobertura metálica, pois os pilares apresentavam dimensões de 30x15 com quatro barras longitudinais de 12,5mm. O projeto inicial da obra não apresentava a construção desse

auditório e por uma falta de compatibilidade entre os projetos de arquitetura e estrutura, houve a necessidade de um redimensionamento. Foi solicitada a análise do cálculo da estrutura do bloco onde foi realizado o reforço de vinte e dois pilares com a seção de 65x35, utilizados oito barras longitudinais de 16 mm, garantindo o seu recobrimento mínimo de 2,5 cm, correspondente a classe de agressividade ambiental da região segundo a ABNT NBR 6118 (2014).

O bloco térreo encontrava-se com pilares, alvenaria e reboco concluídos. Para a realização do encamisamento dos pilares foi efetuado um corte na alvenaria e executado o processo de escarificação da estrutura com o intuito de melhorar a aderência, uma vez que os elementos estruturais não apresentavam nenhum dano que caracterizasse a necessidade de um tratamento químico. Posteriormente realizada a escavação das sapatas e retirando o material ao seu redor, possibilitando a realização dos furos utilizando um martelete com uma broca de 16 mm, com profundidade de trinta centímetros especificada pelo projeto e fazendo-se a limpeza para que não houvesse nenhum tipo de rejeito que interferisse na aplicação da resina epóxi para criar de pontes de aderência entre o aço e a sapata já concretada. Após a colagem das barras são colocados os estribos e feita a concretagem por partes utilizando forma. O reforço foi realizado até a altura da cobertura. As Figuras 2 e 3 apresentam a etapa de execução do confinamento de pilar e aplicação da resina epóxi.

**Figura 2 - perfuração das sapatas com colocação da ferragem.**



Fonte: Autora (2020).

**Figura 3 - Encamisamento realizado na escola Fonte: Autora (2020).**



No próximo tópico será abordado um comparativo hipotético para solução do reforço estudado.

## COMPARATIVO DOS REFORÇOS

Neste tópico será realizado comparativo das metodologias de reforço estrutural por encamisamento dos tipos de reforço estrutural com fibra de carbono e reforço com encamisamento em concreto.

A tabela foi desenvolvida a partir das bibliografias utilizadas para realizar um comparativo das características dos reforços abordados. Para o comparativo serão levantados os aspectos que influenciam na escolha do reforço. Levando em conta o comportamento mecânico, disponibilidade dos materiais, mão de obra, durabilidade e arquitetura, presentes na Tabela 2. Vale salientar que para as pontuações serão levadas em conta a situação presente do estudo de caso, que se deve considerar a região onde a obra está localizada e os aspectos a que estão ligados a mesma, sendo estes econômico, geográfico, ambiental e cultural.

**Tabela 2 - Aspectos do reforço estrutural e respectivas pontuações.**

| Tipo de reforço               | Reforço com concreto armado | Reforço com fibra de carbono |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Comportamento mecânico        | 1,2                         | 1,2                          |
| Disponibilidade dos materiais | 1,2                         | 0,8                          |
| Mão de obra                   | 1,0                         | 0,8                          |
| Durabilidade                  | 1,2                         | 1,2                          |
| Arquitetura                   | 0,8                         | 1,2                          |
| Média                         | 1,08                        | 1,04                         |

Fonte: Autora (2021).

Usando como parâmetro o posicionamento dos autores e a vivência do reforço executado na escola para quantificar os principais pontos a serem levados em consideração na escolha de um reforço.

O comportamento mecânico de ambas as técnicas apresentam resistências significativas, ambos são considerados satisfatórios. A realização do reforço estrutural melhora a ductibilidade e resistência a compressão axial do concreto, através da pressão lateral o concreto confinado que se expande trabalha em conjunto com o reforço (SUDANO, 2010). Já as fibras de carbono apresentam características favoráveis nos quesitos de resistência e módulo de elasticidade, maior resistência à fadiga, resistência à umidade e boa resistência à corrosão (ZUCCHI, 2015). A técnica de reforço com fibra de carbono permite consideráveis ganhos de capacidade de resistência e ductibilidade (CARRAZEDO, 2002).

A solução a ser escolhida dependerá fortemente no tocante a disponibilidade do material (ARALDI, 2013). Os materiais devem estar localizados e avaliados de acordo com a disponibilidade da sua aquisição, sendo o transporte um fator considerado (MARQUES, 2015). O concreto por ser um material de fácil aquisição e muito empregado na construção civil se torna um solução com mais facilidade de compra, já a fibra de carbono tem que ser transportada para o sertão de Pernambuco onde está localizada a escola, com isto surge o fator de gasto com frete. Por isso adotou o valor como insatisfatório para a fibra de carbono pela dificuldade de encontrar esse material nas proximidades, assim como custo elevado para aquisição do mesmo atrelado ao transporte para a localidade.

A execução do reforço e a elaboração dos cálculos podem ser consideradas as fases mais críticas no momento da escolha, uma vez que a falta de normatização/parâmetros prejudica o resultado final. Para a realização desse serviço deve ter experiência na área, e conhecimento a respeito das características e materiais adotados, domínio no manuseio das resinas e possuir um sistema rigoroso de controle de qualidade (MARQUES, 2015). Como o concreto está há vários anos sendo empregado na construção civil é considerado um material de fácil execução, já o reforço com fibra de carbono necessita de cuidados por ser uma técnica ainda pouco difundida nas construções, mas com possibilidade de crescimento se existir um preparo da mão de obra. Devido à prática de reforços estruturais ainda está se desenvolvendo nesta região, mesmo no caso do reforço por encamisamento de concreto ainda existem falhas por inexperiência da mão de obra envolvida, sendo assim atribuída nota 1,0. A situação é semelhante para o reforço com

fibra de carbono, porém é ainda mais atenuante por ser um material pouco conhecido para a região, assim será atribuída nota 0,80.

A durabilidade está ligada a forma de execução atrelada as condições a qual a estrutura irá se comportar em serviço, a qual sendo executada conforme recomendações técnicas não deverá apresentar problemas maiores. Desta maneira, ambas as técnicas são consideradas satisfatórias. Para manter a qualidade do elemento, todas as etapas devem ser acompanhadas por um profissional responsável, visando a qualidade e minimizando possíveis problemáticas (MARQUES, 2015).

A desvantagem do reforço de concreto é a interferência arquitetônica e o tempo de execução (REIS, 2001). O reforço estrutural por encamisamento de concreto afeta a arquitetura, pois o aumento da sua seção diminuirá a área dos ambientes e a estética do prédio, levando-se em consideração a estética, é uma técnica considerada ruim pela sua intervenção. Já o reforço com fibra por ser uma manta não altera a seção do pilar sendo assim satisfatório.

Os parâmetros analisados apresentam valores bem próximos, mostrando uma análise puramente quantitativa não expunha da melhor maneira o problema estudado, sendo a mesma realizada como forma de apresentar os principais pontos levantados afim de demonstrar as diferenças de cada técnica.

## Conclusões

Diante das características apresentadas ambas as técnicas são viáveis e apresentam características importantes, mas devido à falta de parâmetros que orientem os profissionais na área de reforço, dificulta sua escolha. Ambos têm a mesma finalidade de aumentar a capacidade resistente contribuindo com a segurança e a durabilidade das estruturas. É necessário estudos que contribuam para a normatização do processo de reforço de estrutural facilitando a escolha do tipo de reforço e disponibilizando assim de profissionais que tenha o domínio das técnicas de reforço.

O reforço adotado no estudo de caso foi o que apresentou mais vantagens, por ser uma técnica conhecida pelo os engenheiros projetistas e os engenheiros executores da obra. A realização do reforço se deu pelo um erro no dimensionamento de pilares do bloco apresentado no estudo. O fator que contribuiu para a escolha do reforço por encamisamento de concreto foi a facilidade de trabalhar com um material já conhecido, mão de obra e a disponibilidade do material, como o concreto é muito utilizado facilita o processo de execução do reforço e de dimensionamento.

## Referências

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: eficiência de métodos de cálculo de capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação. 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674. **Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. ABNT. Rio de Janeiro. 2012.

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e terapia do concreto armado**. 1.ed. São Paulo; PINI (1988).

CARRAZEDO, R. **Mecanismo de confinamento e suas implicações no reforço de pilares de concreto por encamisamento com compósitos de fibra de carbono.** Escola de Engenharia de São Carlos. 2002.

COUTO, R.A. **Avaliação Probabilística da Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado Sujeitas à Carbonatação.** Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma De Inspeção Predial Nacional.** IBAPE NACIONAL, São Paulo, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686-1. Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework, Genebra, 2011.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono.** 1ª Ed., São Paulo, 2002.

MARQUES, V.S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.

REIS, L.S.N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** Universidade federal de minas gerais, Escola de engenharia programa de pós-graduação em engenharia de estruturas. Belo Horizonte. 2001.

SUDANO, A.L. **Desenvolvimento de estratégias híbridas de reforço de pilares de concreto armado por encamisamento com compósitos de alto desempenhos.** 2010. Doutorado em Engenharia das Estruturas. Universidade de São Paulo. 2010.

TREINOTEC ENGENHARIA. **Aplicação da fibra de carbono.** Disponível em: <<https://treinotecengenharia.com.br/industria/aplicacao-da-fibra-38/>> Acessado em: 28 de setembro de 2021

ZUCCHI, F.L. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS). 2015.

Recebido: 18/05/2023

Aprovado: 14/06/2023