

## DESVENDANDO A TURBULÊNCIA: SIMULAÇÃO CFD DE FLUXO EM RESERVATÓRIOS

**Victória Regina Martin Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheira civil, formada pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL).

**Eduardo Henrique Albuquerque Alves Batalha<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho formado pelo CESMAC, com certificação Green Belt (metodologia Lean Six Sigma)

**Luiz Ricardo Alves dos Santos<sup>(3)</sup>**

Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER). Formado no curso Tecnólogo em Gestão de Produção pela UNINTER. Formação técnica em Edificações pela Escola Politécnica e em Paisagismo pela Universidade de Araras. Certificação em Yellow Belt (metodologia Lean Six Sigma)

**Mayara Carla Alves Leandro<sup>(4)</sup>**

Tecnóloga em Hotelaria formada pelo IFAL.

**Jozelita Maria dos Santos Neta<sup>(5)</sup>**

Graduanda em Engenharia Civil pelo IFAL. Formada no curso técnico em Edificações pelo IFAL.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Antônio Estevão da Silva, 274 – Bairro Jardim Esperança – Arapiraca-AL – CEP: 57307-600 – Brasil – Tel: + 55 (82) 98139-2889 – e-mail: [victoria.silva@igua.com.br](mailto:victoria.silva@igua.com.br).

### RESUMO

A fluidodinâmica computacional (CFD) é uma ferramenta de simulação computacional comumente aplicada em prol da investigação e aprimoramento de sistemas. CFD pode ser empregada para determinar desempenho de sistemas, auxiliar em projetos e até na diminuição do custo, visto que não necessita de experimentação física em escala. O referido trabalho tem como objetivo identificar se as patologias do reservatório de água da caixa de passagem do Sistema Coletivo do Agreste, responsáveis por um vazamento encontrado em 2021, estão relacionadas com o escoamento do fluido em seu interior. Para o desenvolvimento foi utilizado o software *Ansys Fluent*, uma ferramenta de fluidodinâmica computacional. O referido estudo foi composto por duas simulações, a primeira para validar o modelo computacional e a segunda com mesma geometria, malha e condições de contorno, porém com uma pressão de entrada máxima que o reservatório receberia ao longo dos anos. Os resultados mostraram a validação do modelo correspondendo ao real e identificou-se que a pressão gerada pelo escoamento não seria capaz de causar as patologias em um concreto de 30 Mpa. Todavia, a geometria do reservatório gerou vórtices no exato local das manifestações patológicas que ao longo do tempo contribuíram para acelerar o surgimento das patologias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluidodinâmica, Ansys Fluent, vazamento.

### 1. INTRODUÇÃO

Os reservatórios são estruturas de destaque no sistema de distribuição de água, possuem diversas finalidades como a de passagem ou de retenção de água. O concreto armado é um dos materiais construtivos mais empregados nessas unidades hidráulicas por apresentar baixo custo relativo, facilidade de obtenção de seus componentes e durabilidade, caso seja corretamente executado (PELLIZZER, 2015).

Para entender o funcionamento de dispositivos estruturais que interagem com fluidos, algumas ferramentas para o estudo de escoamentos turbulentos, como softwares e códigos com soluções numéricas das equações da dinâmica dos fluidos, vêm sendo empregadas. Esta área do conhecimento é a dinâmica dos fluidos computacional ou CFD (do inglês, *Computational Fluid Dynamics*) foi intitulada no início dos anos 70 e uma das primeiras aplicações foi em uma simulação aerodinâmica nas condições próximas à velocidade do som. Segundo Martins (2016) no final dos anos 1980, avanços nos esquemas numéricos tornaram possíveis a resolução de problemas como por exemplo, o escoamento de gases reais. Ainda de acordo com o autor a finalidade da fluidodinâmica computacional é a avaliação dos eventos físicos do fluxo de fluidos internos ou externos a corpos, estruturas ou objetos. Tais eventos incluem dissipação de energia, difusão convecção, ondas de choque e turbulências.

Em 2021, foi realizada uma investigação na área da Caixa de Passagem 01 (CP 01) do Sistema Coletivo do Agreste (SCA), localizado no Olho d'Água Grande – AL, devido a um vazamento de água no local, o qual em inspeção foi diagnosticada como causa as patologias encontradas na região do fundo do reservatório, abaixo do tubo de saída. Logo, foi realizada uma recuperação estrutural durante a parada programada, porém o desafio era descobrir qual o motivo do surgimento de patologias apenas abaixo do tubo de saída, sem ser necessário mais uma parada no sistema.

Nesse sentido, o estudo avaliou a presença de patologias em um reservatório a partir do comportamento hidrodinâmico em seu poço de saída. Buscou-se integrar a análise das pressões e velocidades reinantes no escoamento, juntamente da análise das linhas de fluxos para identificar a contribuição destes fatores no problema encontrado.

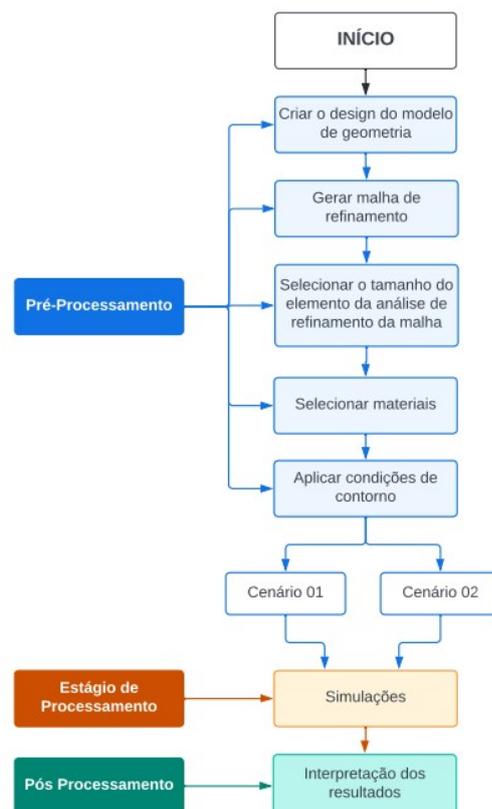
## 2. OBJETIVO

O trabalho propôs-se a avaliar, por meio de uma ferramenta de CFD, se as patologias estruturais em um reservatório de caixa de passagem da adutora do Sistema Coletivo do Agreste (SCA), estavam relacionadas com as condições de escoamento do fluido (água) em seu interior.

## 3. METODOLOGIA UTILIZADA

As simulações foram elaboradas no software Ansys Fluent 2022 R1 versão estudante. O *ANSYS fluent* é um software comercial de última geração escrito em linguagem de programação C e voltado para modelar escoamento de fluidos, fenômenos de transferência de calor e reações químicas em geometrias complexas. O software utiliza ferramentas que definem a geometria do problema e as características da malha. Em seguida deve ser especificado características do problema em questão, como modelos de turbulência, condições de contorno, métodos de discretização adotados e definição dos resíduos, como apresentado na Figura 1 (SEHN, 2021).

**Figura 1 – Fluxograma de todo o processo**



Fonte: Autores, 2022.

Foi analisado o reservatório semienterrado da caixa de passagem de uma adutora de 450 mm, com escoamento turbulento em seu interior. A estrutura tem capacidade de 1,156 m<sup>3</sup>, alimentado com água tratada proveniente do Sistema Coletivo do Agreste. O reservatório apresentava patologias nas regiões das paredes do poço de descarga, que foram descobertas em intervenção de reparo de um vazamento no local. Por conseguinte, o estudo foi realizado para analisar se o escoamento no interior do reservatório estava provocando as patologias encontradas no local.

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA COLETIVO DO AGRESTE (SCA)

O Sistema Coletivo do Agreste (Figura 2) inicia na captação bruta às margens do Rio São Francisco, na cidade de São Brás em Alagoas. A unidade chamada de Complexo Morro do Gaia, além de captar a água também realiza o tratamento em duas estações (ETA 01 e 02), com capacidade de 2.250 m<sup>3</sup>/h. Em seguida a água tratada é levada para as Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT 01 e EEAT 02), que possuem a função de bombear a água e a conduzir através das adutoras de 450 mm (construída em 1974 em ferro fundido) e 600 mm (construída em 1990 em aço carbono) até a caixa de passagem 1 (CP-1). As caixas de passagem (Figura 3) por sua vez, tem a finalidade de reservar para transferir a água através da gravidade até a Estação Elevatória de Campo Grande, que a seguir leva água tratada até o município de Arapiraca-AL por meio de duas adutoras de 400 mm e 600 mm.

**Figura 2 – Mapa do Sistema Coletivo do Agreste**



Fonte: Autores, 2024.

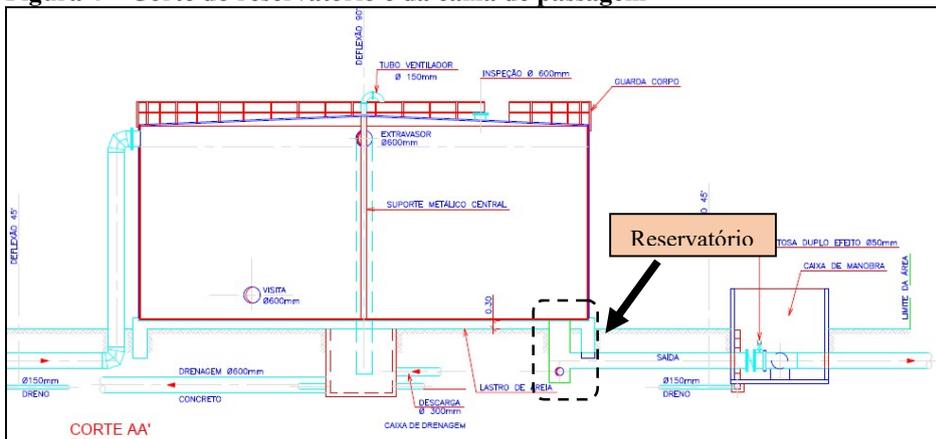
**Figura 3 – Caixa de Passagem 1**



### 3.2. ANÁLISE DA SITUAÇÃO PROBLEMA

Na CP 1 da adutora de 450 mm, existe um reservatório semienterrado em concreto (Figura 4), que apresentava patologias apenas abaixo do tubo de saída até o fundo da estrutura. Em inspeção visual foi identificado que a estrutura apresentava lixiviação, deterioração, segregação e deslocamento do concreto (Figura 5).

**Figura 4 – Corte do reservatório e da caixa de passagem**



Fonte: Agreste Saneamento, 2024.

**Figura 5 – Manifestações patológicas do reservatório da CP1**



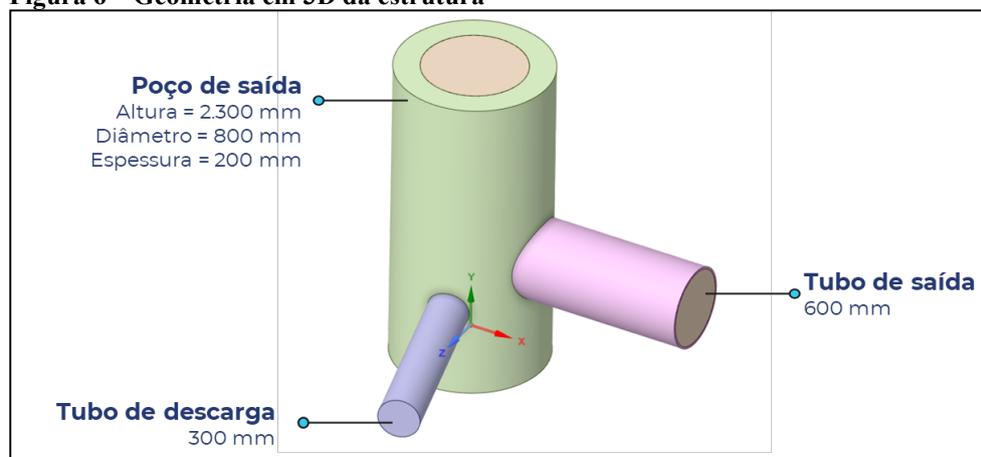
Fonte: Agreste Saneamento, 2024.

À vista disso, surgiu a dúvida de qual a causa de patologias especificamente abaixo do tubo de saída. Na qual, foi levantada a hipótese de ser devido a geometria da estrutura e do tubo de saída que apresentava uma extensão para dentro do reservatório de aproximadamente 23 cm. Por conseguinte, para testar a teoria seria necessária uma simulação computacional para identificar os pontos frágeis da estrutura e comparar com o real, sem a necessidade de entrada na estrutura e da sua paralisação para inspeção.

### 3.3. MODELAGEM EM 3D

O objeto estudado, apresenta como características um diâmetro interno de 80 cm, 2,3 m de altura e a espessura da parede de concreto é 20 cm. Além dos tubos de saída e tubo de descarga a 45° do outro tubo já mencionado, como mostra a figura 6.

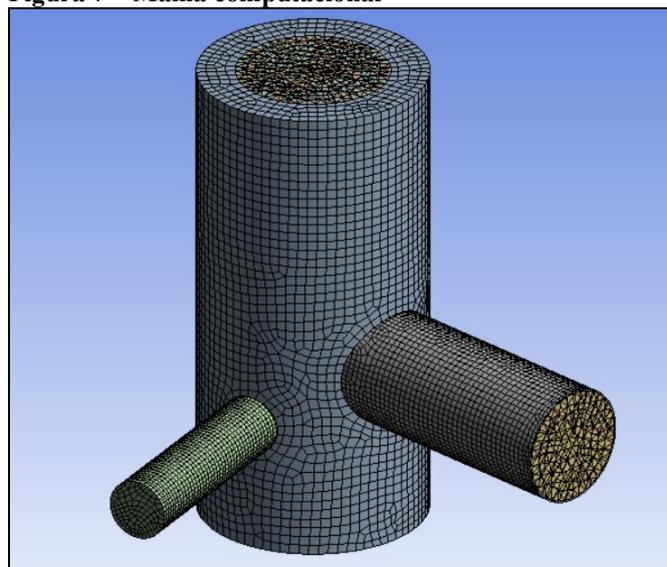
**Figura 6 – Geometria em 3D da estrutura**



Fonte: Autores, 2022.

A seguir é realizado o refinamento da malha, que é determinado por discretizar toda a simulação em células, isto é, dividir o todo em partes menores e de menor complexidade para definir as células nas quais as variáveis serão calculadas pelo software (Figura 7).

**Figura 7 – Malha computacional**



Fonte: Autores, 2022.

Por fim, as condições de contorno foram separadas em duas simulações, representadas na tabela 1. A simulação 01 teve o objetivo de validar a geometria, malha utilizada e os parâmetros de condições de contorno, para calcular sua pressão de entrada foi solicitado a Agreste Saneamento uma média de medições dos níveis de água monitorados à jusante em intervalos de quatro a cinco meses entre cada medição, no ano de 2022. Na simulação 02 foi utilizado o nível máximo de água do reservatório para uma melhor compreensão dos resultados do escoamento máximo sobre a estrutura ao longo dos anos.

**Tabela 1 – Condições de contorno das simulações**

Condições de contorno	Simulação 01	Simulação 02
Materiais dos objetos	-Reservatório: concreto armado -Tubo de saída e Tubo de descarga: aço	-Reservatório: concreto armado -Tubo de saída e Tubo de descarga: aço
Rugosidade do concreto	0,25 mm	0,25 mm
Rugosidade do aço enferrujado	0,6 mm	0,6 mm
Propriedades do concreto	-Densidade: 2.400 kg/m <sup>3</sup> -Coeficiente de Poisson: 0,2 -Young Modulus: 2,5 x 10 <sup>10</sup> Pa	-Densidade: 2.400 kg/m <sup>3</sup> -Coeficiente de Poisson: 0,2 -Young Modulus: 2,5 x 10 <sup>10</sup> Pa
Regiões de entrada e saída do fluido	- <b>Pressão de entrada do fluido: média aritmética das medições realizadas pelo CCO.</b> - Pressão de saída: gradiente de velocidade e pressão são nulos	- <b>Pressão de entrada do fluido: pressão máxima calculada de acordo com o volume de entrada de água.</b> - Pressão de saída: gradiente de velocidade e pressão são nulos

Fonte: autores, 2024.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos neste estudo são explicitados de acordo com as categorias qualitativas e quantitativas a seguir:

##### Resultados qualitativos

- As simulações foram validadas e concordaram de forma aceitável com os dados reais;
- Em ambas as simulações foi verificado que a região abaixo do tubo de saída apresentava maior pressão e que devido à peculiaridade na geometria ocorria o surgimento de vórtices;
- Identificou-se que a pressão gerada pelo escoamento da água não seria capaz de causar as patologias em um concreto acima de 30 Mpa;
- Comparando os resultados com as patologias encontradas no reservatório, a simulação apresentou coerência nos locais de degradação do concreto;

##### Resultados quantitativos

- A metodologia empregada na simulação foi validada com base na série histórica de dados fornecida pelo CCO da Agreste Saneamento, resultando em 81% de compatibilidade dos dados simulados com os levantados em campo;
- A máxima pressão do escoamento de água na estrutura, calculado pelo software foi 6,305 \* 10<sup>4</sup> Pa. Sendo assim, não é o suficiente para o rompimento de um concreto usual de 30 Mpa que possui resistência a pressão de 2,89 \* 10<sup>6</sup> Pa. No entanto, com relação à resistência do concreto, como a estrutura foi construída em 1974 não há dados que comprovem se ele foi executado de forma a portar um desempenho correto. Em inspeção visual foi verificado que a estrutura apresentava problemas como lixiviação, deterioração, segregação e deslocamento do concreto.

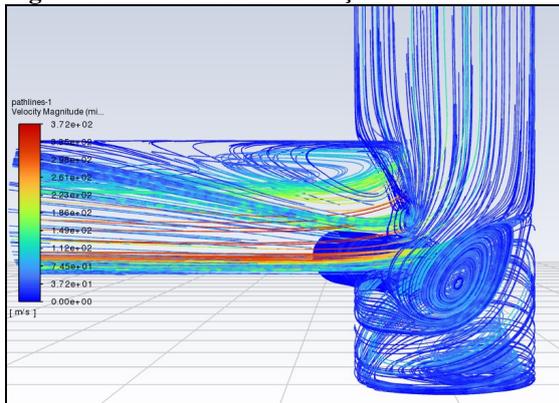
#### 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados mostraram que as simulações foram validadas e concordaram de forma coerente com os dados reais. A geometria, malha e condições de contorno foram satisfatoriamente validadas na simulação 1, na qual a

pressão de entrada foi calculada pela média dos níveis de água medidos na caixa de passagem em 2022. A vazão de saída calculada pelo software foi 0,21 m<sup>3</sup>/s, esta foi comparada com a vazão monitorada pelo Centro de Controle operacional (CCO), cujo valor é 0,17 m<sup>3</sup>/s, demonstrando 81% de compatibilidade. Diante disso o estudo foi validado com êxito, pois a vazão de saída da simulação no software ANSYS coincidiu com a real.

A segunda simulação utilizou o nível máximo de água que o reservatório receberia para calcular a pressão máxima que o escoamento dos fluidos causariam na estrutura. Após a obtenção dos resultados foi encontrado, especificamente na localização do início do tubo de saída até o fundo da estrutura, a existência de vórtices (Figura 8), os quais se caracterizam por ser um movimento de rotação em espiral, devido a geometria do reservatório caracterizada por apresentar formato cilíndrico e tubo de saída com saque para o interior da estrutura.

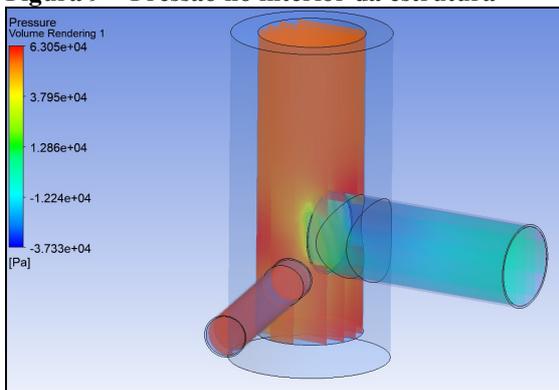
**Figura 8 – Vórtices na simulação**



Fonte: autores, 2024.

Em ambas as simulações foi verificado que a região abaixo do tubo de saída apresentava maior pressão de  $6,305 \times 10^4$  Pa, a qual pode ser observada na renderização volumétrica dos fluidos da Figura 9, conciliando com os locais de surgimento das manifestações patológicas.

**Figura 9 – Pressão no interior da estrutura**



Fonte: autores, 2024.

## 6. CONCLUSÕES

O projeto é uma alternativa de análise e identificação de pontos de fragilidade de estruturas por meio de simulações, sem a necessidade de interrupções no abastecimento de água em 10 municípios do Agreste Alagoano. A interrupção no fornecimento gera escassez de água, impacto na saúde, problemas socioeconômicos, conflitos e tensões, e impactos ambientais. A falta de água potável dificulta o atendimento às necessidades básicas das pessoas e pode levar a proliferação de doenças. Além disso, afeta a economia, a produtividade e pode resultar em conflitos entre comunidades e fornecedores.

O respectivo estudo contribuiu diretamente em 3 (três) objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), sendo eles: ODS 6 – Água potável e saneamento; ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura e ODS 12 – Consumo e produção responsáveis. Visto que o projeto em questão é uma alternativa de análise e identificação de pontos frágeis em estruturas, garantindo a segurança operacional do sistema de adução e distribuição da água do Sistema Coletivo do Agreste. Ademais também contribui para assegurar disponibilidade de água tratada e garantir a inovação nas infraestruturas e padrões de produções uma vez que o programa analisa o desempenho e a eficiência de uma estrutura presente no sistema de tratamento de água.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: informação e documentação: projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 2.ed. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.
2. MARTINS, Vinícius Antônio Messias et al. Fluidodinâmica computacional aplicada à geração e propagação de ondas em um reservatório. 2016.
3. PELLIZZER, Giovanni Pais. Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
4. SEHN, Igor Haas. Modelagem de camada limite atmosférica termicamente estratificada via ansys fluent® para aplicação em análise do potencial eólico offshore. 2021.