

## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **ANÁLISE DO PROCESSO DE OUTORGA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS**

Por,

**Julia Souza Brito**

**Brasília, 2023.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

# PROJETO DE GRADUAÇÃO

## **ANÁLISE DO PROCESSO DE OUTORGA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS**

POR,

**Julia Souza Brito**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia de Produção

### **Banca Examinadora**

Prof. Dr. Reinaldo Garcia, UnB/ EPR (Orientador)

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ari Melo Mariano, UnB/ EPR

\_\_\_\_\_

Brasília, 18 de dezembro de 2023

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico à minha família – meu pai, Elias,  
minha mãe, Ângela, e minha irmã, Elisa.*

*Julia Brito*

# AGRADECIMENTOS

À Deus, “porque nele foram criadas todas as coisas que há nos céus e na terra, visíveis e invisíveis”. Ele dá sentido à existência e me sustentou com bondade e misericórdia. É por Ele que vivo. Agradeço pelo dom da vida e por poder ser chamada de filha de Deus.

À minha família, meus pais, minha irmã, tios, tias, primos e primas, por todo suporte e apoio em todas as fases da minha vida. Agradeço por se alegrarem comigo e me incentivarem sempre. É privilégio ser parte da Família Brito e da Família Souza.

À Igreja, meus irmãos em Cristo, que tiveram participação fundamental, com conselhos e orações. Agradeço por estarem comigo nas dificuldades e nas alegrias.

À Universidade de Brasília e, em especial ao Departamento de Engenharia de Produção. Ser aluna da UnB era meu sonho desde menina, mas não esperava encontrar um curso com o qual eu me identificasse tanto. Agradeço a todo o corpo docente e técnico por viabilizarem a minha formação, me sinto capacitada graças ao trabalho de vocês. Gostaria de destacar a Professora Simone Borges, por tantas oportunidades ao longo da graduação.

Ao professor Reinaldo, que desde a primeira aula me marcou com seu comprometimento e entusiasmo. Por verdadeiramente ensinar, por sua preocupação com nosso desenvolvimento individual e por todo suporte na realização desse trabalho. Imagino que nem sempre a docência seja um caminho fácil, mas saiba que o senhor deixou marcas em muitos engenheiros de produção.

Às amigas feitas durante a graduação, minha experiência universitária teria sido muito diferente se não fosse a companhia de vocês. Agradeço pelos trabalhos em grupo, pelos estudos conjuntos e por tudo vivido nesses anos. Bruna Chaves, Isabel Alves, Tiago Versiani, Juliana Cantuário, Leonardo Araujo, Gabriela Vilaro, Gabrielle César, Ana Clara Miranda, Ian Rocca, Gabriela Viana e, finalmente, João Gabriel Vale, com quem fiz 17 trabalhos em grupo nos últimos 6 anos. Sou muito grata por ter dividido essa jornada com vocês.

*“Não alcançar nada  
Sem Aquele que é o Fim de tudo*

*O Alvo*

*O Destino*

*O Ômega*

*A Vida abundante”*

*(Fernando Sabóia Vieira)*

---

## RESUMO

Este estudo analisa o processo de outorga de uso de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do São Francisco, empregando a simulação de sistemas como metodologia principal. Em síntese, a outorga é o processo administrativo que dá direito ao uso da água. A pesquisa utiliza o software Arena para modelar e simular o processo de outorga realizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com o objetivo de identificar gargalos e propor melhorias. A análise dos dados revelou tempos de espera significativos reforçando a necessidade de otimização do processo. Através da modelagem, foi possível identificar pontos críticos que impactam a eficiência do processo. Foi proposto como solução prática o aumento do número de especialistas em etapas específicas, para reduzir os tempos de espera e melhorar o desempenho geral do processo de outorga. Este trabalho oferece uma contribuição valiosa para a área de gestão de recursos hídricos, mostrando como ferramentas de simulação podem ser aplicadas na otimização de processos administrativos em agências reguladoras. Os resultados obtidos têm implicações práticas significativas para a ANA e podem servir como um modelo para análises semelhantes em outras bacias hidrográficas ou processos.

**Palavras-chave:** Simulação de Sistemas; Teoria das Filas; Outorga; Pesquisa Operacional.

---

## ABSTRACT

This study analyzes the process of granting water resource usage in the São Francisco River Basin, employing system simulation as the primary methodology. In summary, the granting process is the administrative procedure that gives the right to use water. The research applies the Arena software to model and simulate the granting process conducted by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), aiming to identify bottlenecks and propose improvements. The data analysis revealed significant waiting times, reinforcing the need for process optimization. It was possible then to identify critical points impacting the efficiency of the process. A proposed practical solution was to increase the number of experts in specific stages to reduce waiting times and improve the overall performance of the granting process. This work provides a valuable contribution to the water resources management field, demonstrating how simulation tools can be applied to optimize administrative processes in regulatory agencies. The obtained results have practical implications for ANA and it can serve as a model for similar analyses in other river basins or processes.

**Keywords:** System Simulation; Queueing Theory; Granting; Operations Research.

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Descrição das Categorias de outorga .....	16
Quadro 2 – Descrição dos Tipos de Solicitação de Outorga. ....	17
Quadro 3 – Partes de uma modelagem no Arena .....	23
Quadro 4 - Distribuição de Probabilidade dos Tempos de Análise .....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões Hidrográficas Brasileiras.....	15
Figura 2 – Preenchimento Requerimento de Outorga.....	18
Figura 3 – O Processo Básico de Sistemas de Fila .....	20
Figura 4 – Procedimento Metodológico.....	26
Figura 5 - Módulos do Arena .....	27
Figura 6 - Macro Etapas do Processo de Outorga .....	28
Figura 7 – Módulo Create.....	39
Figura 8 - Módulo Decide .....	40
Figura 9 - Módulo Process .....	41
Figura 10 - Resource - Basic Process.....	41
Figura 11 - Módulo Dispose.....	42
Figura 12 - Modelo desenvolvido no Arena .....	43
Figura 13 - Modelo desenvolvido no Arena após a simulação .....	44
Figura 14 - Relatório Arena - Recursos .....	45
Figura 15 - Relatório Arena - Utilização Recursos.....	46
Figura 16 - Relatório Arena - Filas.....	46
Figura 17 - Recursos após alteração .....	47
Figura 18 - Modelo no Arena após alteração .....	47
Figura 19 - Relatório Arena - Filas após alteração .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise das Finalidade dos Pedidos de Outorga .....	31
Tabela 2 - Análise dos Tipo de Pedidos de Outorga .....	31
Tabela 3 - Comparativo Tempo de Espera .....	49

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Contextualização.....	11
1.2 Objetivos .....	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Outorga Da Água .....	14
2.2 Pesquisa Operacional .....	19
2.2.1 Teoria das Filas.....	20
2.2.2 Simulação De Sistemas.....	21
2.3 Arena.....	22
3. METODOLOGIA .....	25
3.1 Classificação da Pesquisa .....	25
3.2 Procedimento Metodológico.....	25
4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO .....	28
4.1 Entendimento do fluxo do processo .....	28
4.2 Limpeza e seleção dos dados.....	29
4.3 Análise dos Dados .....	29
4.4 Análise da distribuição: Input Analyser.....	34
4.5 Criação do modelo no Arena.....	39
4.6 Validação do modelo .....	43
4.7 Análise dos resultados e sugestões.....	44
5. CONCLUSÃO .....	50
REFERÊNCIAS.....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Nesta seção, serão apresentados os objetivos do trabalho e as perguntas de pesquisa, juntamente com uma breve contextualização do processo de outorga do uso da água, destacando sua importância para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

### 1.1 Contextualização

A água é um recurso fundamental para diversas necessidades humanas, animais e para a preservação dos ecossistemas, além de ser um componente crucial nos processos de produção. Devido à sua importância vital, a regulamentação do uso da água por meio de legislação específica se torna essencial. Assim, com o objetivo de permitir ao governo o controle e incentivo ao uso racional das águas, a Lei Federal nº 9.433, de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. (ANA, 2013)

Dentre os instrumentos de gestão instituídos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, está a outorga de uso de recursos hídricos. Esse instrumento garante ao usuário o direito de uso da água, condicionado à disponibilidade hídrica. (COLLISCHONN, 2014) Cabe ao poder outorgante examinar cada pedido de outorga e verificar a existência suficiente de água, considerando os aspectos quantitativos e qualitativos, para que o pedido possa ser atendido. (ANA, 2013)

No art. 4º da Lei nº 9.984, de 2000, está definida a competência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para emissão do ato de outorga. Portanto, compete à Diretoria Colegiada da Agência da ANA examinar e decidir sobre pedidos de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União. (BRASIL, 2000)

Atualmente, o processo de análise de pedidos de outorga da ANA conta com filas e, dada a importância do uso da água para as mais diversas atividades humanas, a otimização desse processo traria impactos positivos para a sociedade. Nesse ínterim, o campo da Pesquisa Operacional entra como ferramenta para

resolver problemas complexos relacionados à coordenação e gestão de atividades dentro de uma organização.

O objetivo da Pesquisa Operacional é fornecer conclusões práticas e compreensíveis aos tomadores de decisão, ajudando-os a tomar decisões informadas e a melhorar a eficiência das organizações. A área possui uma ampla gama de aplicações em vários setores, incluindo manufatura, transporte, finanças, saúde e militar. Em síntese, a Pesquisa Operacional pode ajudar a otimizar um processo, fornecendo uma abordagem sistemática e analítica para a tomada de decisões. (HILLIER, 2013)

Dentre as ferramentas disponíveis na área de Pesquisa Operacional, está a simulação de sistemas produtivos. A simulação é frequentemente usada em Pesquisa Operacional para fornecer estimativas do desempenho de projetos alternativos e ajudar a compreender as relações de causa e efeito dentro do sistema. Além disso, a simulação ajuda a fornecer recomendações baseadas em dados para otimizar processos. (HILLIER, 2013)

Um exemplo de aplicação da simulação de sistemas com a Teoria de Filas, um ramo da Pesquisa Operacional que estuda o comportamento das filas, é o estudo de Kakoei (2022). O estudo teve como objetivo otimizar a gestão odontológica hospitalar e para isso aplicou teoria de filas e técnicas de simulação, isso gerou a redução do tempo de espera e do comprimento das filas. Ao implementar reorganizações adequadas, o estado das filas dos centros de saúde pode ser melhorado sem alterar o número de funcionários.

Com o alvo de reduzir o tempo de espera para a resposta ao pedido de outorga, o objetivo desse trabalho é usar a simulação de sistemas para otimizar o processo de outorga e entender quais passos podem ser tomados a fim de reduzir a fila para a análise do processo de outorga dentro da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

## **1.2 Objetivos**

Nesta seção serão apresentados os objetivos do presente trabalho, primeiramente o objetivo geral e depois os objetivos específicos.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste estudo é otimizar o processo de outorga de uso de recursos hídricos, realizado na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico do Brasil. A pesquisa visa desenvolver e testar um modelo de simulação de sistemas, a fim de fornecer recomendações baseadas em dados para aprimorar o processo de outorga.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Compreender as etapas do processo de outorga por meio do mapeamento;
2. Construir um modelo de simulação computacional que se assemelhe à realidade;
3. Analisar os resultados obtidos na simulação;
4. Construir um modelo com melhorias no sistema;
5. Expor o resultado obtido no modelo com melhorias e
6. Avaliar o impacto do modelo no processo de outorga.

A seguir serão apresentados o Referencial Teórico, que apresenta os conceitos e fundamentos teóricos que embasam o estudo. Em seguida, a seção que descreve a metodologia utilizada para a análise do processo de outorga, incluindo a coleta de dados, a modelagem do sistema e a simulação computacional. A próxima seção é a Resultados e Discussão, que apresenta os resultados obtidos na simulação do processo e discute as principais conclusões e propostas de melhoria. Por fim, a última seção é a Conclusão, que apresenta as principais conclusões do estudo e sugere possíveis direções para trabalhos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão expostos os conceitos principais que serão utilizados ao longo do desenvolvimento, utilizando, para isso, a revisão de literatura existente sobre os assuntos relacionados com o escopo do tópico estudado.

### 2.1 Outorga Da Água

A água é essencial para diversas necessidades humanas, animais e para a preservação dos ecossistemas, além de ser um recurso vital para processos produtivos. Hoje no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da união ou dos estados.

Essa organização por bacias hidrográficas permite uma gestão mais integrada e efetiva dos recursos hídricos, considerando todos os aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental, como aspectos físicos, sociais e econômicos. Além disso, a gestão de recursos hídricos baseada em bacias hidrográficas permite uma abordagem mais compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros. (PORTO, 2008)

Hoje o território brasileiro pode ser dividido em 12 regiões hidrográficas, são elas: Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental; Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental; Região Hidrográfica do Parnaíba; Região Hidrográfica do Atlântico Leste; Região Hidrográfica do São Francisco; Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste; Região Hidrográfica do Paraná; Região Hidrográfica do Paraguai; Região Hidrográfica do Uruguai; Região Hidrográfica do Atlântico Sul; Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia e Região Hidrográfica do Amazônica. Na Figura 1 estão representadas as regiões das Bacias Hidrográficas Brasileiras no mapa.

Figura 1 – Regiões Hidrográficas Brasileiras.



Fonte: CNRH (2003) apud (PORTO, 2008)

Considerando a importância essencial da água, a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, visando capacitar o governo a supervisionar e promover o uso racional dos recursos hídricos. Nesse contexto, a outorga é um dos 5 instrumentos previstos por lei para a gestão de recursos hídricos. (ANA, 2013)

Devido ao seu caráter de bem público no Brasil, a água não pode ser objeto de posse privada, sendo responsabilidade do poder público gerenciar sua distribuição. A outorga tem como finalidade assegurar o exercício dos direitos de acesso à água e o controle tanto quantitativo quanto qualitativo de seus usos. Em termos simples, ela garante ao requerente o uso exclusivo do volume ou fluxo outorgado, impedindo sua alocação a terceiros e fornecendo segurança para investimentos futuros. Quando a manutenção de ecossistemas exige necessidades específicas de fluxo, a outorga e o gerenciamento dos recursos

hídricos devem garantir o atendimento dessas demandas. A verificação desse cumprimento depende essencialmente de dois fatores: a disponibilidade natural de água da fonte e as vazões já concedidas a outros usuários. (COLLISCHONN, 2014)

A competência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para emissão do ato de outorga é definida no artigo 4º da Lei nº 9.984, de 2000, que estabelece que a ANA é responsável por outorgar, por meio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União. Além disso, o Decreto nº 3.692, de 19 de dezembro de 2000, que regula a organização e a estrutura da ANA, estipula que a Diretoria Colegiada da Agência é responsável por examinar e decidir sobre os pedidos de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União. (ANA, 2013)

Existem na legislação federal três categorias de outorga: a outorga preventiva, a outorga de direito de uso e a declaração de reserva de disponibilidade hídrica. Cada categoria é explicada no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição das Categorias de outorga

<b>Categorias de Outorga</b>	<b>Descrição</b>
Outorga Preventiva de Uso de Recursos Hídricos	Reserva a vazão passível de outorga para permitir o planejamento de empreendimentos relacionados à água por um período máximo de três anos. Pode ser convertida em outorga de direito de uso a pedido do requerente.
Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos	Concede o direito de uso de recursos hídricos por um prazo máximo de 35 anos, com possibilidade de renovação, suspensão, revogação ou transferência. O titular é responsável por infrações relacionadas ao uso inadequado da outorga.
Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica	Reserva a quantidade de água necessária para empreendimentos hidrelétricos por até três anos, renovável a critério da ANA com solicitação da ANEEL. Automaticamente convertida em outorga de direito de uso ao receber o contrato de concessão ou autorização da ANEEL, o prazo coincide com o dos contratos de concessão e autorizações de uso de potencial de energia hidráulica.

*Fonte: Elaboração própria a partir de ANA (2013).*

As análises documentais e técnicas e os fluxos processuais para obtenção da outorga preventiva são os mesmos requeridos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos. (ANA, 2013)

Para que a concessão de outorga seja viabilizada, é indispensável que o requerente apresente a solicitação correspondente, visto que a emissão de outorga pela ANA está condicionada à solicitação prévia do interessado. Desse modo, a obtenção da outorga demanda o envio de um requerimento formal por parte do usuário à ANA. Além do pedido inicial de outorga, o usuário tem a opção de solicitar renovação, transferência, modificação ou comunicar a desistência da outorga. No Quadro 2 são descritas as solicitações relacionadas à outorga.

Quadro 2 – Descrição dos Tipos de Solicitação de Outorga.

<b>Tipo de solicitação</b>	<b>Descrição</b>
Pedido de Outorga	Requerimento formal para obtenção de outorga preventiva, de direito de uso ou DRDH. Deve ser submetido à ANA via formulário específico, com a possibilidade de dispensa do envio do requerimento em alguns casos específicos.
Renovação de Outorga	Requerimento de renovação deve ser apresentado com no mínimo 90 dias de antecedência ao término da vigência da outorga, com a possibilidade de prorrogação automática se a ANA não se manifestar dentro desse prazo.
Transferência de Outorga	Solicitação para transferir a outorga a terceiros, mantendo as mesmas condições do ato original. A análise inclui verificação de possíveis passivos associados à outorga.
Alteração de Outorga	Solicitação de alteração, sujeita a nova resolução de outorga pela ANA, pode ser feita a pedido do requerente ou por interesse público.
Conversão de Outorga Preventiva em Outorga de Direito de Uso	Solicitação para converter a outorga preventiva em outorga de direito de uso, sujeita à verificação de eventuais alterações nas características e condições originais.
Desistência da Outorga	Comunicação formal à ANA sobre desativação, interrupção de atividades ou desistência da outorga, sujeita a manifestação do poder público concedente e sem isenção de responsabilidade por passivos e infrações durante a vigência da outorga.

Fonte: *Elaboração própria a partir de ANA (2013).*

Além disso, os pedidos de outorga também são classificados quanto à finalidade. Cada finalidade possui requisitos próprios, documentações e informações específicas a serem anexadas no requerimento. As finalidades dos processos de outorga analisados pela ANA são: Abastecimento Público, Aquicultura, Dessedentação Animal, Esgotamento Sanitário, Indústria e Afins, Irrigação, Mineração, Termelétrica, Obras hidráulicas e outras finalidades.

Ao preencher o requerimento, o solicitante deve indicar qual é a Categoria, o Tipo de Solicitação e a Finalidade, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Preenchimento Requerimento de Outorga

**Faça um X à esquerda da opção desejada para formular o pedido de outorga.**

CATEGORIA	SOLICITAÇÃO	FINALIDADE	
<input type="checkbox"/> Outorga Preventiva *	<input type="checkbox"/> Nova Outorga	<input type="checkbox"/> Abastecimento Público	
<input type="checkbox"/> Outorga de direito de uso	<input type="checkbox"/> Renovação de Outorga	<input type="checkbox"/> Aquicultura em Tanques Escavados (viveiros)	
<input type="checkbox"/> DRDH	<input type="checkbox"/> Transferência de outorga**	<input type="checkbox"/> Dessedentação (e criação) Animal	
*Indicada para empreendimentos que estão em fase de estudo.	<input type="checkbox"/> Alteração de Outorga	<input type="checkbox"/> Esgotamento Sanitário	
	<input type="checkbox"/> Conversão de Outorga Preventiva/DRDH em Outorga de Direito de Uso	<input type="checkbox"/> Indústria e afins, inclusive Construção Civil	
	<input type="checkbox"/> Desistência de Outorga	<input type="checkbox"/> Irrigação	
	** A Transferência só poderá ser realizada nas mesmas condições da outorga original. É obrigatório o envio do formulário específico preenchido pelo novo titular da outorga.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Mineração
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Barramento
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Termelétrica
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Obras Hidráulicas (canalização, derrocamentos, retificação de rios, etc)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Outras Finalidades (especificar)		

Fonte: ANA (2013).

Após a submissão dos pedidos de outorga, os processos são encaminhados para especialistas em recursos hídricos, responsáveis por realizar análises técnicas e elaborar notas técnicas e minutas de resolução. Em casos específicos, como empreendimentos de barragens, a Gerência de Regulação avalia a disponibilidade hídrica, as interferências a montante e a jusante, e as regras de operação dos reservatórios. Além disso, são consultados órgãos como o Ministério da Pesca e Aquicultura para empreendimentos de aquicultura. Processos relacionados a atividades termelétricas, energia hidráulica e mineração são autuados somente após verificação de registros emitidos pela ANEEL e pelo DNPM, respectivamente. As notas técnicas e minutas de resolução são registradas no Sistema de Gerenciamento de Documentos e enviadas para deliberação do

deferimento ou indeferimento dos pedidos, assinados pelo Gerente de Outorga e pelo Superintendente da SRE. (ANA, 2013)

## **2.2 Pesquisa Operacional**

A Pesquisa Operacional é um campo que envolve pesquisas sobre operações e aplica métodos analíticos para resolver problemas complexos relacionados à coordenação e gestão de atividades dentro de uma organização. Ela utiliza modelos matemáticos e técnicas de simulação para analisar diferentes cenários e otimizar processos. Dessa forma, o objetivo da Pesquisa Operacional é fornecer conclusões práticas e compreensíveis para os tomadores de decisão, ajudando a tomar decisões informadas e melhorar a eficiência das organizações. Ela possui uma ampla gama de aplicações em diversas indústrias, incluindo manufatura, transporte, finanças, saúde e militares. (HILLIER, 2013; TAHA, 2013; WINSTON, 2004)

A Pesquisa Operacional teve início durante a Segunda Guerra Mundial, quando surgiu a necessidade de alocar de forma eficaz recursos escassos para operações militares. A gestão militar britânica e americana convocou cientistas para aplicar uma abordagem científica a problemas estratégicos e táticos, resultando na formação das primeiras equipes de Pesquisa Operacional. Ao longo da história, a Pesquisa Operacional teve um impacto significativo na melhoria da produtividade das economias em todo o mundo e conta com diversas sociedades internacionais e periódicos dedicados ao seu estudo e aplicação. (HILLIER, 2013; TAHA, 2013; WINSTON, 2004)

O campo da Pesquisa Operacional desenvolveu uma série de métodos e ferramentas matemáticas para a análise e resolução de problemas complexos em diversas áreas. Esses métodos são adaptados de acordo com a estrutura e os requisitos específicos de cada problema, sendo essencial compreender as peculiaridades de cada situação a fim de selecionar a abordagem mais adequada. A aplicação prática dessas técnicas muitas vezes exige uma combinação de métodos, por exemplo, e os pesquisadores da área desempenham um papel

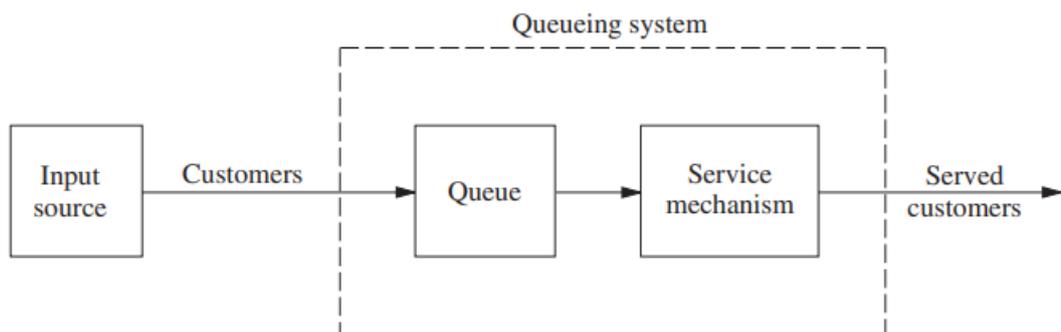
crucial na identificação e aplicação eficaz de soluções para otimizar processos e tomadas de decisão em contextos diversos. (INFORMS, 2023)

### 2.2.1 Teoria das Filas

A Teoria das Filas é um ramo da Pesquisa Operacional que se concentra na análise de filas e tempos de espera, que são onipresentes e frequentemente uma fonte de ineficiência na vida cotidiana. O ato de esperar em filas não apenas consome tempo, mas também tem impacto tanto na qualidade de vida quanto na economia. Então, a Teoria das Filas examina diferentes tipos de sistemas de filas e emprega modelos matemáticos para avaliar seu desempenho e as durações médias dos tempos de espera. Esses modelos ajudam a alcançar um equilíbrio entre a capacidade de serviço e os tempos de espera, minimizando, assim, custos e aprimorando a eficiência operacional. Ao integrar a Teoria das Filas à Pesquisa Operacional, obtêm-se perspectivas sobre o desempenho de sistemas com filas e, dessa forma, pode-se tomar decisões informadas a fim de melhorar a eficiência e a satisfação do cliente do processo. (HILLIER, 2013; TAHA, 2013)

O processo básico adotado pela maioria dos modelos de filas consiste nas seguintes etapas. Inicialmente, os clientes que necessitam de serviço são gerados ao longo do tempo por uma fonte de entrada. Então, esses clientes entram no sistema e se juntam a uma fila. Em determinados momentos, um membro da fila é selecionado para o serviço por meio de uma regra conhecida. Desse modo, o serviço necessário é realizado para o cliente, após a prestação do serviço, o cliente deixa o sistema de filas. Esse processo é ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – O Processo Básico de Sistemas de Fila



Fonte: HILLIER (2013)

Um exemplo de aplicação de um modelo da teoria das filas e simulação é Aziati e Hamdan (2018) que analisaram do fluxo de pacientes no ambulatório. O estudo foi realizado em uma clínica de saúde pública no sul da Malásia, utilizando uma abordagem descritiva-analítica para coletar dados sobre o fluxo de pacientes no ambulatório. O modelo foi desenvolvido com base nos dados observados e incluiu diferentes estações representando o fluxo de pacientes desde o registro até o balcão da farmácia. O modelo permitiu avaliar tempos de atendimento e tempos de espera, fornecendo percepções sobre os tempos médios e máximos de atendimento por paciente.

Os modelos de filas exigem relativamente poucos dados e são simples e rápidos de usar, o que os torna uma ferramenta poderosa para avaliar e comparar alternativas de serviços. Eles também podem oferecer percepções sobre a organização de recursos, esquemas de prioridade e necessidades de capacidade. Ao integrar ferramentas analíticas e de simulação na modelagem de filas, analisa-se problemas de filas na pesquisa e na prática. (LAKSHMI; IYER, 2013)

### **2.2.2 Simulação De Sistemas**

A simulação é uma ferramenta usada para avaliar e analisar novos projetos de sistemas e mudanças propostas em sistemas de controle e regras de operação. É tanto uma arte quanto uma ciência, envolvendo conceitos como estado do sistema, eventos e processos. É um processo de criação de um modelo ou representação de um sistema do mundo real. A realização de experimentos nesse modelo permite compreender o comportamento e desempenho do sistema. (CARSON, 2005)

A simulação está intimamente relacionada à Pesquisa Operacional, uma vez que é frequentemente usada como técnica dentro desse campo. Em Pesquisa Operacional, usa-se a simulação para modelar e analisar vários cenários, permitindo que diferentes estratégias identifiquem gargalos e decisões possam ser tomadas para melhorar o desempenho do sistema. A simulação é um meio para analisar diferentes alternativas do sistema, avaliar seu desempenho e identificar problemas potenciais e suas causas. (CARSON, 2005)

A simulação e a Teoria de Filas estão intimamente relacionadas, uma vez que a simulação é frequentemente usada para modelar e analisar filas. Ao simular sistemas de filas, fatores podem ser analisados como taxas de chegada, tempos de serviço, comprimentos de fila e tempos de espera para obter percepções sobre o desempenho do sistema e, assim, tomar decisões informadas para otimizar o problema em estudo. A simulação também pode ser usada para testar diferentes estratégias de filas, como a alocação de recursos, para determinar seu impacto na eficiência do sistema e na satisfação do cliente. (CARSON, 2005)

A simulação fornece então uma ferramenta eficiente para aplicar conceitos da teoria de filas em cenários práticos, permitindo que os pesquisadores compreendam e melhorem o desempenho de sistemas de filas. Além disso, a simulação baseia-se em evidências empíricas, fazendo-a eficaz em situações práticas. A modelagem de simulação é assim flexível permitindo investigar a precisão de formulações e soluções analíticas, bem como atender a características específicas do problema. (LAKSHMI; IYER, 2013)

### **2.3 Arena**

O software Arena™ Simulation é usado para a criação de um modelo digital usando dados históricos e verificados em relação aos resultados reais do sistema a ser estudado. O software é usado em muitas áreas, entre elas estão as agências governamentais e militares, a fim de aprimorar o planejamento de políticas, processos e operações. As capacidades de cenários hipotéticos do Arena permitem que essas organizações avaliem opções e escolham o melhor curso de ação com base nos resultados apresentados. (ROCKWELL AUTOMATION, 2023)

A interface do Arena fornece um ambiente gráfico para construir e analisar modelos de simulação, com recursos como visualizações de fluxograma, painéis de módulos e módulos de dados. Ela permite que os modeladores interajam com o modelo de simulação, definam entidades, atributos, variáveis, recursos e filas, e especifiquem suas propriedades e comportamentos. A interface também inclui ferramentas como o *Input Analyzer* e o *Output Analyzer* que são usados para analisar parâmetros de entrada e resultados de simulação, respectivamente. No

Quadro 3 estão explicadas as principais partes de uma simulação e ferramentas do Arena. (PRADO, 2014; ROSSETTI, 2015)

Quadro 3 – Partes de uma modelagem no Arena

<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>
Input Analyzer	O Input Analyzer é uma ferramenta do Arena que ajuda os modeladores a analisar e especificar parâmetros de entrada e suas distribuições de probabilidade. Ele permite que os modeladores coletem dados, ajustem distribuições de entrada e analisem o impacto de diferentes distribuições no modelo de simulação.
Output Analyzer	O Output Analyzer é uma ferramenta do Arena que ajuda os modeladores a analisar a saída de um modelo de simulação. Ele fornece várias ferramentas de análise, como histogramas, estatísticas resumidas e recursos de comparação para avaliar o desempenho do sistema que está sendo modelado.
Entidades	No Arena, as entidades representam os objetos ou entidades que fluem através do sistema que está sendo modelado. As entidades podem representar objetos físicos, como peças ou produtos, ou entidades abstratas, como clientes ou pedidos. Eles se movem pelo sistema, interagem com recursos e passam por diversos processos e transformações.
Atributos	Os atributos são características ou propriedades associadas a entidades no Arena. Eles fornecem informações adicionais sobre entidades, como tamanho, prioridade ou requisitos específicos.
Variáveis	As variáveis no Arena são usadas para armazenar e manipular dados durante o processo de simulação. Eles podem representar estados do sistema, medidas de desempenho ou qualquer outra informação relevante. As variáveis podem ser usadas para rastrear o número de entidades em uma fila, registrar o tempo gasto em um processo ou calcular estatísticas para análise.
Recursos	Os recursos no Arena representam as entidades ou objetos necessários para executar tarefas ou processos específicos no sistema. Eles podem representar máquinas, equipamentos, pessoal ou qualquer outro tipo de recurso necessário para a operação do sistema.
Filas	As filas no Arena representam áreas de espera onde as entidades aguardam processamento ou serviço. Elas podem ser usadas para modelar o acúmulo de entidades antes que possam prosseguir para o próximo processo ou recurso.

Fonte: *Elaboração própria a partir de (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2006)*

Em síntese, o Arena oferece um ambiente gráfico integrado de simulação, fornecendo recursos abrangentes para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. Utilizando a abordagem por processos, essa técnica de simulação envolve elementos estáticos interagindo com elementos dinâmicos em um ambiente definido por regras e propriedades. O Arena é composto por blocos ou módulos que funcionam como comandos de uma linguagem de programação, representando entidades, estações de trabalho e fluxos. O software visualiza ainda o sistema a ser modelado como um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços aos clientes, sendo aplicado em uma variedade de contextos. (SILVA; PINTO; SUBRAMANIAN, 2007)

### **3. METODOLOGIA**

Esta seção apresenta a metodologia desenvolvida para conduzir o desenvolvimento deste projeto.

#### **3.1 Classificação da Pesquisa**

A metodologia de uma pesquisa científica pode ser entendida como o conjunto de procedimentos e técnicas utilizados para realizar uma investigação científica. A pesquisa pode ser classificada em quatro categorias principais quanto: à natureza, às abordagens metodológicas, aos objetivos e aos procedimentos. (NASCIMENTO, 2016)

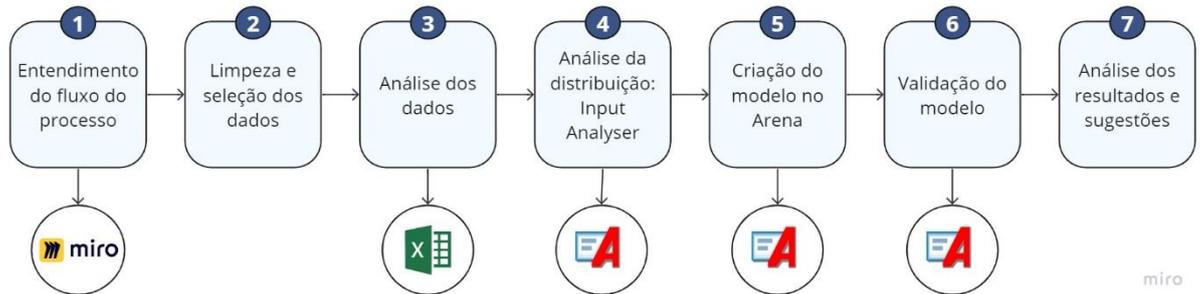
Quanto à natureza, o presente trabalho é classificado como pesquisa aplicada, pois tem como objetivo produzir conhecimento que possa ser aplicado na solução de problemas concretos, no caso, no processo de outorga da ANA. Quanto à abordagem metodológica, é classificada como quantitativa, pois utiliza ferramentas e técnicas estatísticas para a análise dos dados, a fim de identificar padrões, relações de causa e efeito e correlações.

Já quanto ao objetivo de pesquisa, o estudo é classificado como exploratório pois, nesse tipo de pesquisa, o objetivo é identificar as principais variáveis envolvidas no fenômeno estudado e gerar hipóteses que possam ser testadas em estudos posteriores. Por fim, quanto ao procedimento metodológico essa pesquisa é um estudo de caso cuja abordagem metodológica envolve a análise detalhada de um caso específico, com o objetivo de compreender suas particularidades e características.

#### **3.2 Procedimento Metodológico**

O procedimento metodológico para a realização desse trabalho pode ser sintetizado em sete fases, são elas: Entendimento do fluxo do processo; Limpeza e seleção dos dados; Análise dos dados; Análise da distribuição; Criação do modelo no Arena; Validação do modelo; e Análise dos resultados e sugestões. A Figura 4 representa visualmente as etapas.

Figura 4 – Procedimento Metodológico



Fonte: Autoria própria.

Os dados utilizados para o estudo, fornecidos pela ANA, foram retirados do sistema que registra as solicitações de outorga. Para que os dados pudessem ser utilizados e analisados foi feita uma seleção, excluindo os outliers, para que não houvesse distorções nas distribuições, e determinando uma janela de tempo para a análise – de 2019 a 2022. Além disso, na definição de escopo do projeto, decidiu-se que seriam analisados apenas os dados referentes à bacia hidrográfica do São Francisco, a qual é a bacia com a maior quantidade de pedidos de outorga. Uma vez os dados tendo sido recebidos, foram extraídos o intervalo de tempo entre a chegada do pedido e a finalização dos processos, a taxa de chegada dos processos e a distribuição dos pedidos quanto à finalidade de uso.

Com a base de dados limpa, era fundamental, para a devida compreensão do que os dados significavam, ter clareza de como se dava o processo de outorgas dentro da ANA. A fim de ter entendimento do fluxo do processo, foram realizadas reuniões com funcionários da Agência e pesquisas, o principal material de apoio foi o Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (2013). Posteriormente, foi realizado um registro visual do processo utilizando a plataforma Miro.

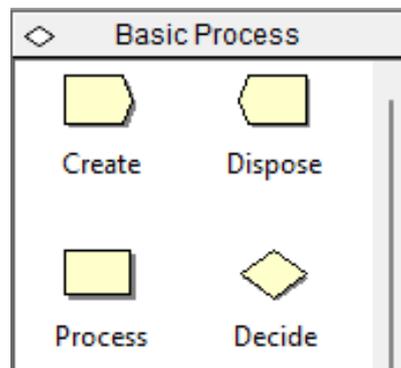
Os dados selecionados foram analisados e essas análises permitiram que fossem observadas quais as finalidades mais recorrentes, se havia alguma sazonalidade nos pedidos, qual o tempo médio de análise de cada finalidade, qual a distribuição de pedidos entre os tipos de solicitação, qual a distribuição entre pedidos de outorgas vigentes e de uso insignificante, entre outros fatores.

Os dados referentes ao tempo do processo de cada finalidade foram então inseridos no Input Analyser, uma ferramenta presente no Arena que permite analisar dados reais e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. Essas distribuições foram posteriormente incorporadas diretamente ao modelo desenvolvido.

A base de dados recebida era extensa e contava com mais de 50 colunas. Para que a análise pudesse ser realizada foram identificadas as colunas mais relevantes. As colunas referentes às datas de início da outorga e de solicitação foram usadas para encontrar o tempo de análise do processo. Já as colunas finalidade e tipo de pedido foram usadas para caracterizar e diferenciar os pedidos, a partir delas, foi possível observar quais finalidades e tipos eram os mais frequentes e quais tinham tempo de espera maior.

O registro visual do processo foi realizado no Miro e o modelo foi criado no Arena. Os módulos usados foram: Create, para iniciar o processo, Decide, para dividir os fluxos, Process, para os processos de análise do pedido; e Dispose, para encerrar o modelo. Na Figura 5 observa-se os quatro módulos utilizados.

Figura 5 - Módulos do Arena



*Fonte: Autoria própria.*

Com o modelo criado, foi preciso validá-lo. Para essa validação, comparou-se os resultados encontrados no Arena com os dados recebidos da ANA. O objetivo era tornar o modelo o mais próximo possível da realidade para que a partir dele fosse possível analisar o processo e identificar possíveis gargalos. Após a validação do modelo, os resultados apresentados pelo Arena foram analisados e diferentes cenários foram simulados com a finalidade de sugerir melhorias no fluxo e na gestão dos recursos disponíveis.

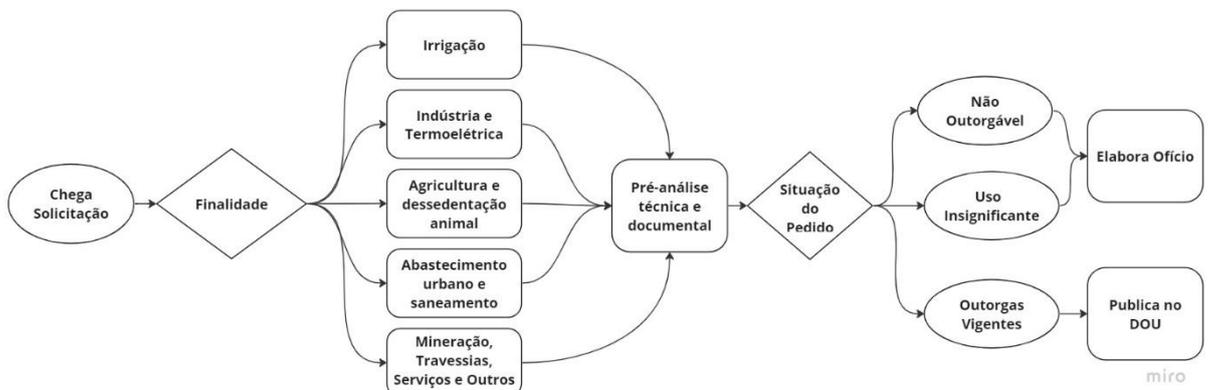
## 4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Esta seção apresenta o desenvolvimento do modelo, de acordo com a metodologia exposta no capítulo anterior. Em particular, a finalidade e os tipos de pedidos de outorga bem como os tempos de chegada e de análise.

### 4.1 Entendimento do fluxo do processo

Para poder modelar corretamente o problema estudado, é fundamental entender o processo de outorga na ANA como um todo. Assim, a fim de compreender como se dá a concessão de outorgas na Agência foram realizadas entrevistas com funcionários e materiais elaborados pela própria ANA foram consultados. A partir disso, foi elaborado um esquema visual sintetizando, de forma macro, as principais etapas do processo, representado na Figura 6.

Figura 6 - Macro Etapas do Processo de Outorga



Fonte: Autoria própria.

A solicitação de outorga chega e é separada em cinco grupos de acordo com a finalidade. Esses grupos são: Irrigação, Indústria e Termoelétrica, Agricultura e Dessedentação Animal, Abastecimento Urbano e Saneamento e Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos. Essa separação dos processos é feita porque cada finalidade possui características e requisitos próprios, além disso, normalmente, os especialistas que analisam os pedidos atendem de acordo com uma finalidade específica. Portanto, os processos de Indústria e Termoelétrica, por exemplo, são analisados pelo mesmo grupo de especialistas.

## 4.2 Limpeza e seleção dos dados

Após uma melhor compreensão do processo de outorga, era preciso entender a base de dados fornecida e selecionar quais informações seriam interessantes extrair dos dados disponíveis. A planilha fornecida pela ANA foi extraída da base de dados do sistema que gere os pedidos de outorga. A base completa era composta por 74 colunas, com informações sobre a bacia hidrográfica, o trecho hídrico, as datas de solicitação, a situação de cada pedido, entre outros. Além disso, a base continha o registro de 13.437 solicitações de outorga, do período de maio de 2016 a dezembro de 2022.

Quanto ao escopo, decidiu-se que seriam analisados os pedidos de outorga referentes à bacia do São Francisco. Os dados a serem analisados incluem o período de 2019 a 2022. Os pedidos analisados foram os com situação de “Outorga Vigente”, o que significa que a outorga solicitada foi concedida e publicada no Diário Oficial da União (DOU) e com a situação “Uso Insignificante”, nesses casos não há publicação no DOU.

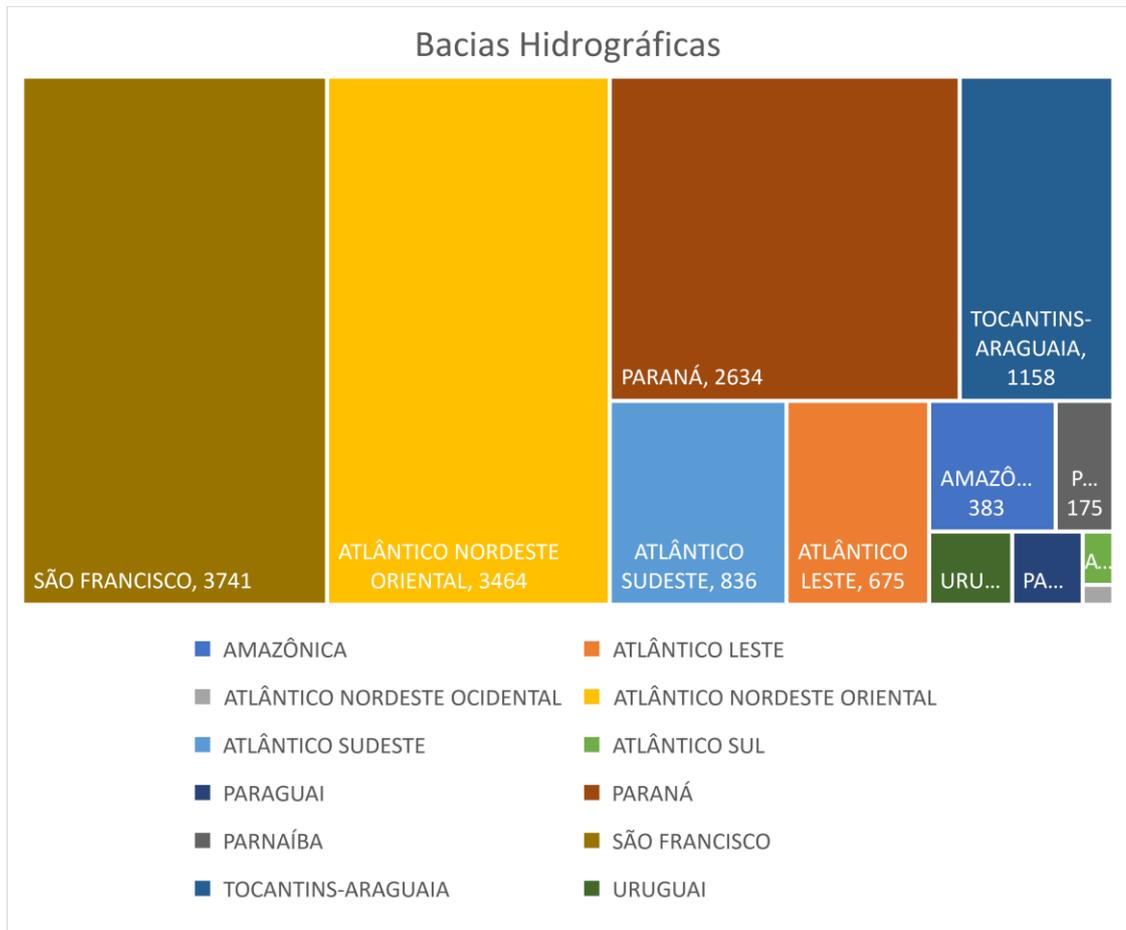
Os dados outliers foram identificados e removidos. Em especial, os valores muito maiores do que a média, para evitar distorções no modelo. Para fazer essa seleção foram elaborados histogramas e selecionados os valores referentes aos 80% menores. Ademais, foram identificados erros pontuais na própria planilha com dados apresentados como “Indisponíveis”, os quais foram removidos.

## 4.3 Análise dos Dados

A partir dos dados recebidos, foi possível realizar análises para encontrar padrões e frequências nos pedidos de outorga analisados pela ANA. Essas análises permitiram com que fossem observadas quais são as finalidades mais recorrentes, se há alguma sazonalidade nos pedidos, qual o tempo médio de análise de cada finalidade, qual a distribuição de pedidos entre os tipos de solicitação e qual a proporção dos pedidos de outorgas vigentes e de uso insignificante.

Inicialmente, foi feita uma análise da distribuição dos pedidos de outorga considerando as bacias hidrográficas. Para facilitar a visualização, foi elaborado um mapa de árvore, apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Pedidos de outorga distribuídos nas bacias hidrográficas



*Fonte: Autoria própria.*

As três bacias com maior número de pedidos de outorga registrados são as bacias do São Francisco, do Atlântico Nordeste Oriental e do Paraná, respectivamente. Juntas, essas três bacias representam, aproximadamente, 75% do total de pedidos de outorga solicitados junto à ANA no período de 2019 a 2022. O foco desse estudo é estudar os pedidos de outorga referentes, especificamente, à bacia do São Francisco.

As análises apresentadas a seguir são restritas à bacia do São Francisco. A Tabela 1 faz referência ao tempo médio de análise e o percentual que cada Finalidade representa. Os pedidos com a finalidade Irrigação são os mais frequentes, representando cerca de 88% do total, e possuem o menor tempo médio de análise, 54 dias. Os processos que levam mais tempo para serem analisados são os de Abastecimento Urbano e Saneamento, com uma média de 178 dias entre o pedido de

solicitação e o início da outorga de fato. Os pedidos de Indústria e Termoelétrica são os menos frequentes, representando apenas 1% do total de solicitações recebidas.

Tabela 1 - Análise das Finalidade dos Pedidos de Outorga

<b>Finalidade</b>	<b>Tempo médio de análise (dias)</b>	<b>Percentual</b>
Abastecimento urbano e saneamento	178	4%
Agricultura e dessedentação animal	122	4%
Indústria e Termoelétrica	139	1%
Irrigação	54	88%
Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos	89	3%

*Fonte: Autoria própria.*

Além das diferentes finalidades, as solicitações de outorga também são classificadas quanto ao tipo, são eles: Alteração de Outorga; Alteração Nome Pessoa Física ou Razão Social; Novo Pedido de Outorga; Novo Pedido de Outorga para Outorga Existente; Renovação de Outorga e; Transferência de Titularidade. Para fins de análise, esses 6 tipos foram agrupados em 4 categorias: Alteração; Novo Pedido de Outorga; Renovação de Outorga; Transferência De Titularidade.

Na Tabela 2 são apresentados o tempo médio de análise e o percentual que cada tipo representa. A grande maioria dos pedidos, 92%, são de novos pedidos de outorga e esse tipo é também o com menor tempo médio de análise, 55 dias. Os demais tipos apresentam tempos médios de análise dos processos maiores, mas, em contrapartida, representam apenas 8% do quantitativo.

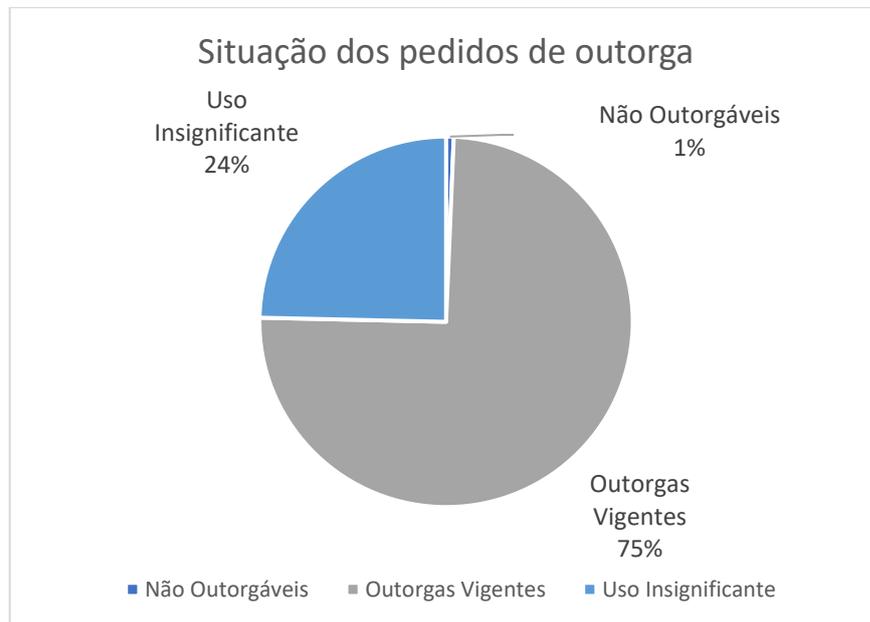
Tabela 2 - Análise dos Tipo de Pedidos de Outorga

<b>Tipo de Pedido</b>	<b>Tempo médio de análise (dias)</b>	<b>Percentual</b>
Alteração	111	5,8%
Novo Pedido De Outorga	55	92,0%
Renovação De Outorga	105	0,4%
Transferência De Titularidade	89	1,8%

*Fonte: Autoria própria.*

Os pedidos de outorga, após avaliados, são agrupados em três grupos: Outorgas Vigentes, Uso Insignificante e Não Outorgáveis. No caso de Outorgas Vigentes, o pedido de outorga foi deferido e a outorga teve início. Já os de Uso Insignificante independem de outorga pelo poder público, logo, a ANA não concede a outorga. No Gráfico 2, está demonstrada a proporção de cada grupo: 75% dos pedidos foram enquadrados como Outorga Vigente, 24% como Uso Insignificante e apenas 1% foram Não Outorgáveis.

Gráfico 2 - Situação dos pedidos de outorga

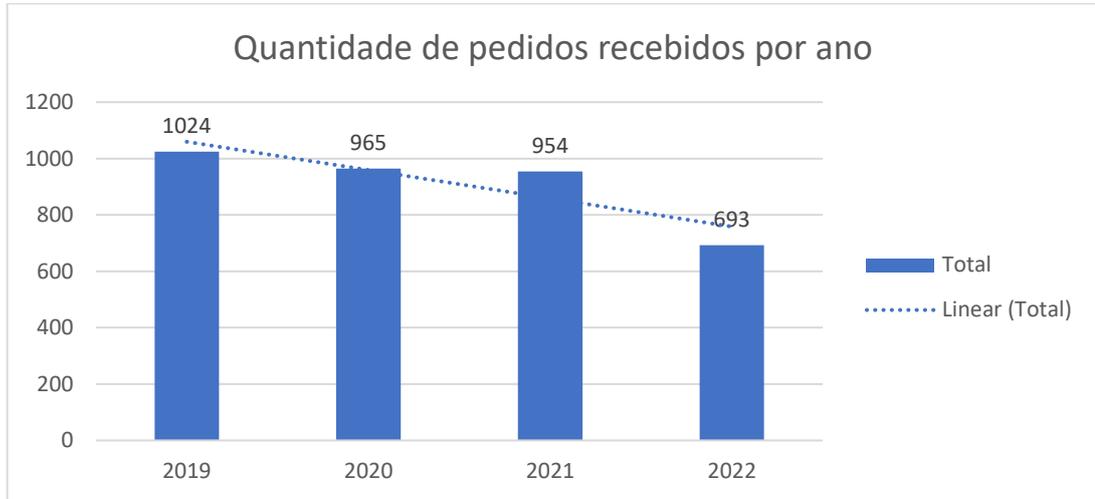


Fonte: Autoria própria.

Os pedidos analisados foram solicitados pelos usuários no período de 2019 a 2022. O Gráfico 3 mostra o quantitativo de solicitações feitas nos quatro anos analisados. Nota-se um decaimento sutil na quantidade de pedidos recebidos entre 2019 e 2021 e uma queda mais acentuada em 2022.

Para entender propriamente essa queda significativa em 2022 foi necessário analisar mais o problema, porém, uma suposição que justifica o valor menor é que, quando a base foi extraída, nem todos os processos recebidos em 2022 haviam sido concluídos, logo não apareceriam na planilha. Isso ocorre porque a base recebida não contempla processos em andamento. Apesar disso, nota-se ao longo dos anos uma tendência de redução do número de pedidos recebidos.

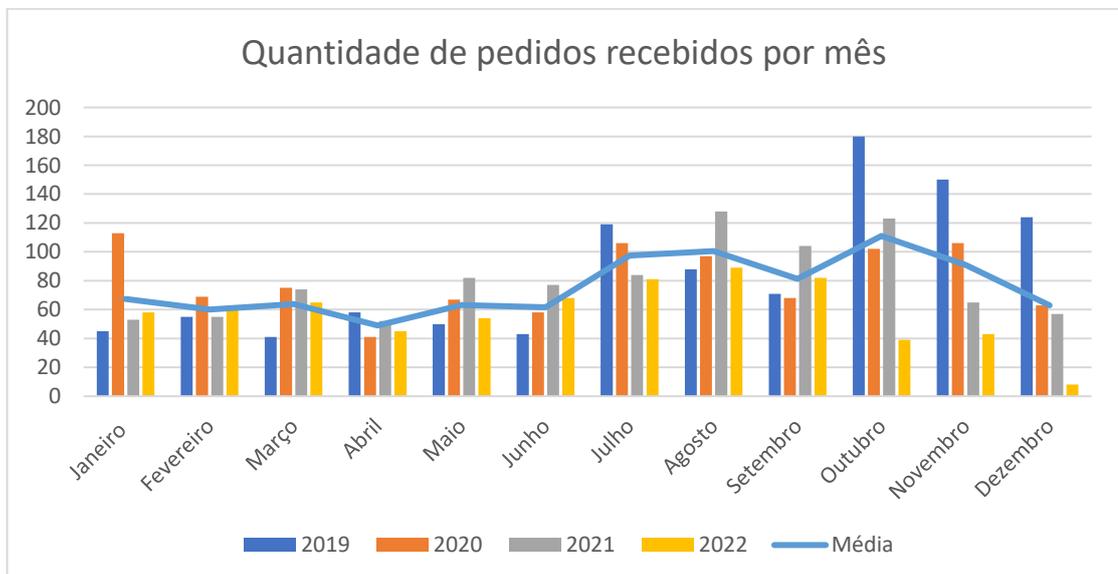
Gráfico 3 - Quantidade de pedidos recebidos por ano



Fonte: Autoria própria.

Com o intuito de encontrar possíveis sazonalidades nas solicitações dos pedidos de outorga, o Gráfico 4 apresenta o quantitativo de pedidos recebidos em cada mês ao longo dos quatro anos analisados. Observa-se uma maior quantidade de pedidos recebidos no segundo semestre, em comparação com o primeiro. Além disso, em comparação com os demais meses, o mês de abril é o com menor quantidade de pedidos recebidos.

Gráfico 4 - Quantidade de pedidos recebidos por mês



Fonte: Autoria própria.

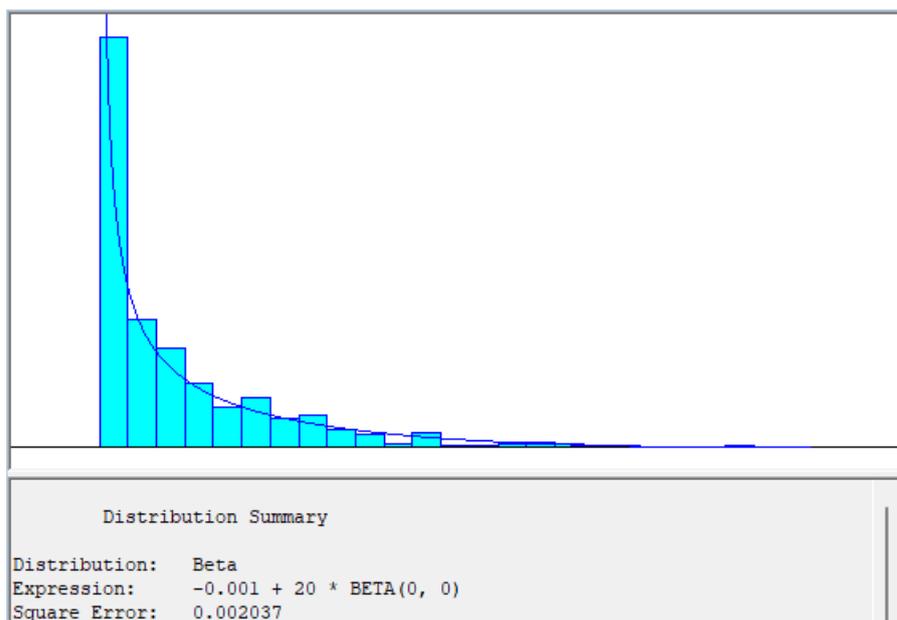
A partir dos dados recebidos, foi possível identificar que 88% dos pedidos recebidos são da finalidade Irrigação, que 92% dos pedidos são de novos pedidos de outorga e que 75% resultam em outorgas vigentes. Além disso, há uma tendência sutil de redução na quantidade de pedidos de outorga recebidos anualmente.

#### 4.4 Análise da distribuição: Input Analyser

Para poder simular o processo, era preciso identificar as distribuições estatísticas do tempo de chegada e dos tempos de análise das solicitações. Para isso foi utilizada uma ferramenta do Arena, o Input Analyser. Essa ferramenta é utilizada para entender como os dados reais se comportam estatisticamente e possibilita escolher qual distribuição estatística representa mais fielmente o comportamento do sistema.

O Gráfico 5 representa a distribuição encontrada para o tempo de chegada das solicitações. Esse tempo se refere à diferença entre o horário de chegada de um pedido e o horário de chegada do pedido seguinte, ou seja, o tempo entre chegadas (*time between arrivals*).

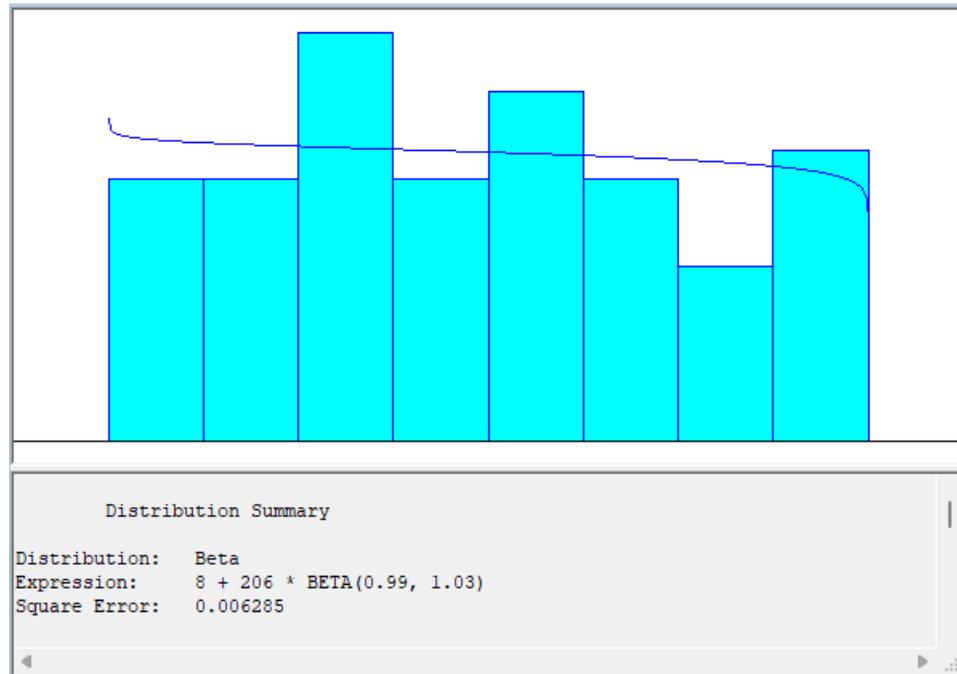
Gráfico 5 - Distribuição do tempo entre chegadas



Fonte: Autoria própria.

Para a distribuição estatística do Tempo entre chegadas, o tipo de função que melhor descreveu o comportamento foi a Beta. O Gráfico 6 mostra a Distribuição do tempo de análise da finalidade Abastecimento Urbano e Saneamento, cuja função também foi do tipo Beta.

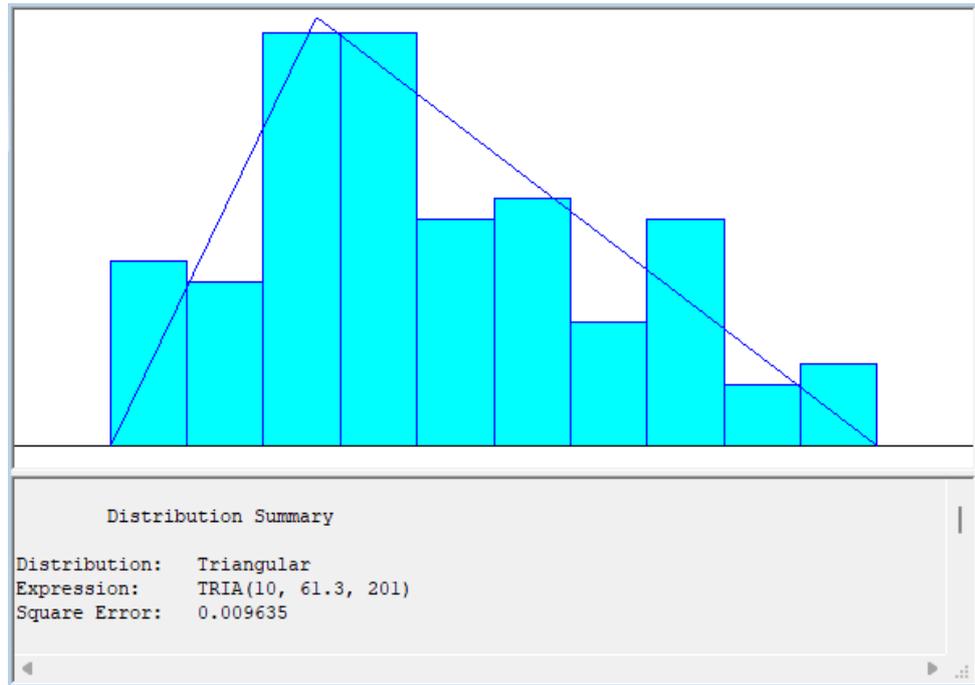
Gráfico 6 – Distribuição do tempo de análise da finalidade Abastecimento Urbano e Saneamento



*Fonte: Autoria própria.*

Já o Gráfico 7 contém a Distribuição do tempo de análise da finalidade Aquicultura e Dessedentação Animal. A função indicada pelo Arena como a que melhor representa a realidade dos dados é uma Triangular (10, 61.3, 201). O resultado obtido para essa função triangular indica que o tempo mínimo para a análise de concessão de outorga dessa finalidade é de 10 dias, o mais provável é de aproximadamente 62 dias e o tempo máximo de 201 dias.

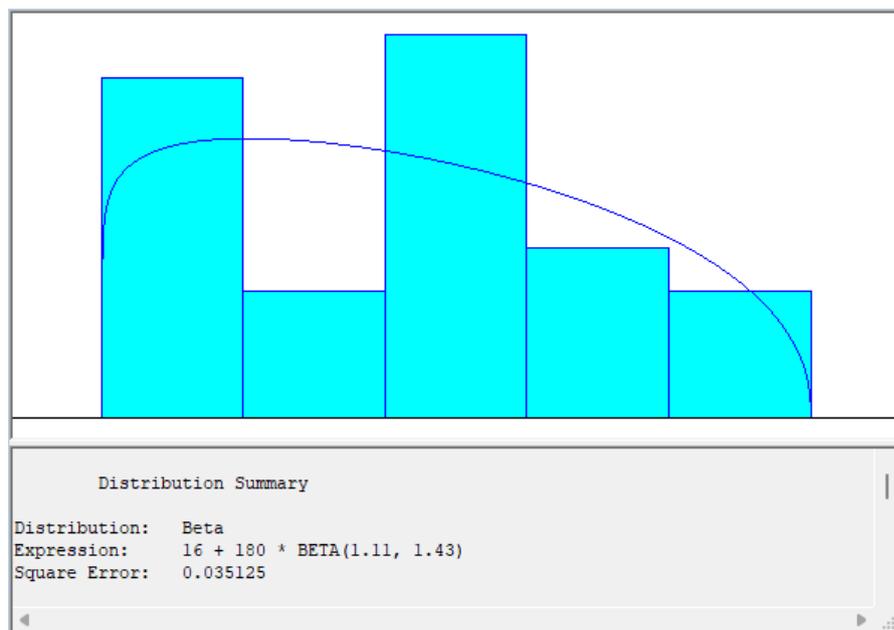
Gráfico 7 - Distribuição do tempo de análise da finalidade Aquicultura e Dessedentação Animal



*Fonte: Autoria própria.*

Para o Tempo de análise da finalidade Indústria e Termoelétrica, a distribuição estatística indicada foi uma Beta, conforme exposto no Gráfico 8.

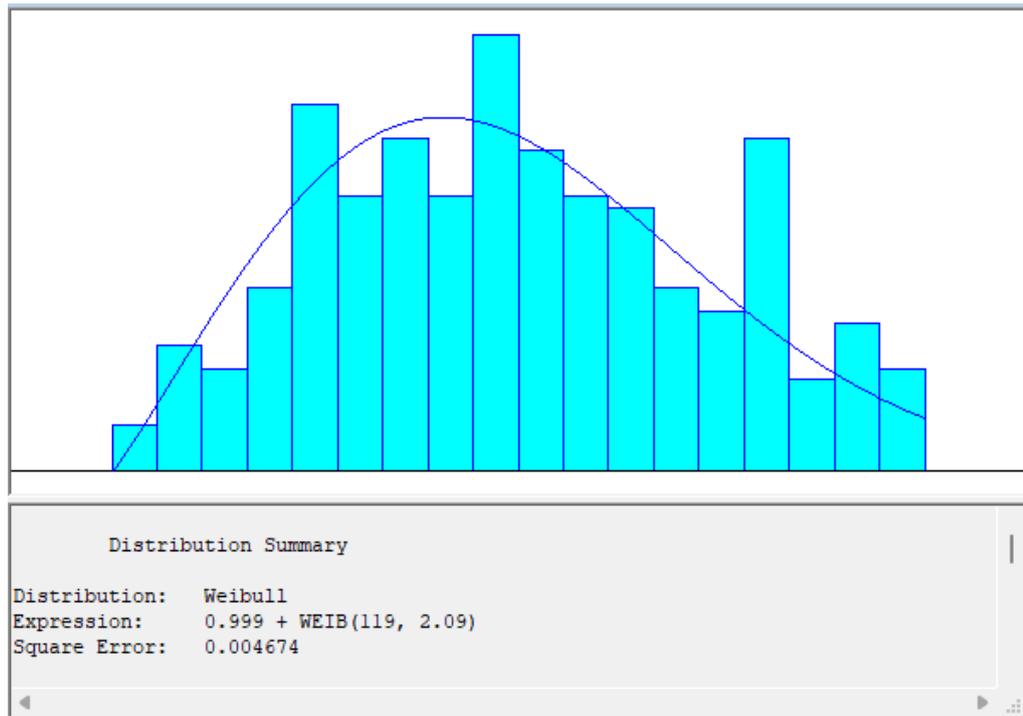
Gráfico 8 - Tempo de análise da finalidade Indústria e Termoelétrica



*Fonte: Autoria própria.*

O Gráfico 9 demonstra a Distribuição do tempo de análise da finalidade Irrigação, a qual é a finalidade mais frequente. Nesse caso, a função de distribuição é uma Weibull.

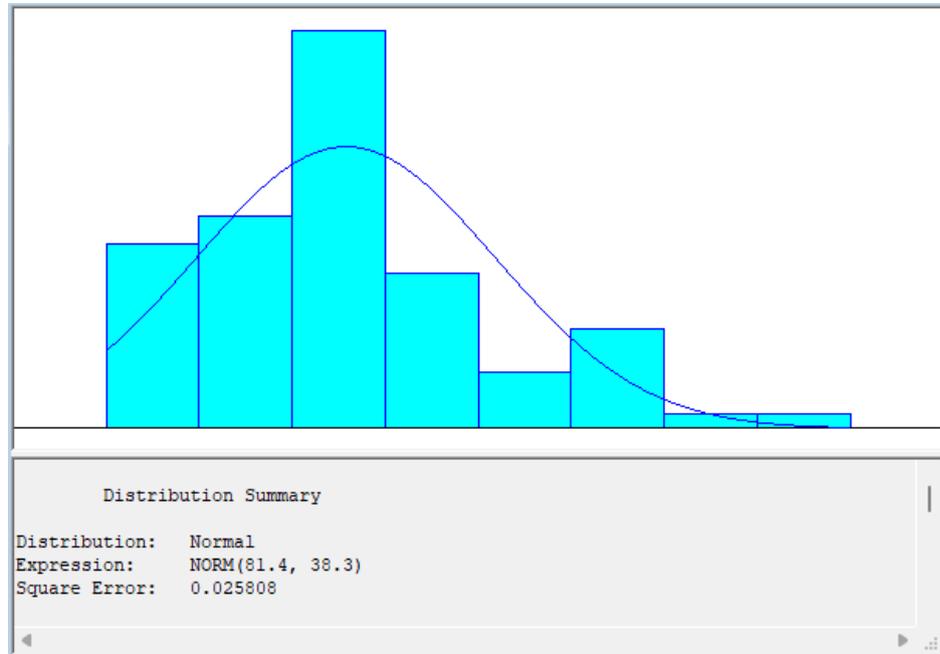
Gráfico 9 – Distribuição do tempo de análise da finalidade Irrigação



*Fonte: Autoria própria.*

A última finalidade é a de finalidade Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos. Conforme exposto no Gráfico 10, a distribuição do tempo de análise dessa finalidade é uma Normal.

Gráfico 10 - Distribuição do tempo de análise da finalidade Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos



Fonte: Autoria própria.

Em síntese, o Quadro 4 contém as equações encontradas para cada tempo que foi incluído no modelo.

Quadro 4 - Distribuição de Probabilidade dos Tempos de Análise

Tempo de análise	Tipo de Função	Distribuição de Probabilidade
Tempo entre chegadas	Beta	$-0.001 + 20 * \text{BETA}(0, 0)$
Abastecimento urbano e saneamento	Beta	$8 + 206 * \text{BETA}(0.99, 1.03)$
Aquicultura e dessedentação animal	Triangular	$\text{TRIA}(10, 61.3, 201)$
Indústria e Termoelétrica	Beta	$16 + 180 * \text{BETA}(1.11, 1.43)$
Irrigação	Weibull	$0.999 + \text{WEIB}(119, 2.09)$
Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos	Normal	$\text{NORM}(81.4, 38.3)$

Fonte: Autoria própria.

Após a definição das distribuições de probabilidade para cada um dos tempos necessários, as equações encontradas foram incorporadas diretamente ao modelo no Arena.

#### 4.5 Criação do modelo no Arena

Após obter as distribuições estatísticas de cada processo, o modelo foi desenvolvido no Arena. O escopo modelado foi apenas do processo de análise que os especialistas fazem das solicitações de outorga recebidas. Dessa forma, o modelo é iniciado com um módulo *Create* que marca o recebimento das solicitações e que segue a distribuição estatística encontrada no Input Analyser, apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Módulo Create

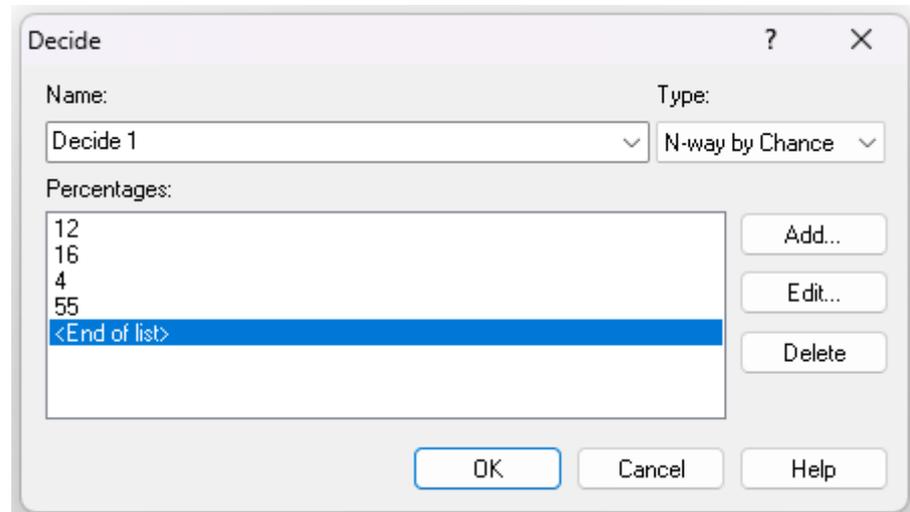
The screenshot shows the 'Create' dialog box in Arena. The 'Name' field is set to 'Create 1' and the 'Entity Type' is 'Entity 1'. Under 'Time Between Arrivals', the 'Type' is 'Expression', the 'Expression' is '-0.001 + 20 \* BE1', and the 'Units' are 'Days'. The 'Entities per Arrival' is set to 1, 'Max Arrivals' is 'Infinite', and 'First Creation' is 0.0. The 'OK' button is highlighted.

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, um módulo *Decide* divide o fluxo nas 5 possibilidades de finalidade: Abastecimento Urbano e Saneamento; Aquicultura e Dessedentação Animal; Indústria e Termoelétrica; Irrigação e Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos. O tipo usado foi o *N-way by Chance* no qual Abastecimento tinha uma probabilidade de 12%, Aquicultura de 16%, Indústria de 4%, Irrigação de 55% e Mineração de 13%, respectivamente. A

Figura 8 apresenta o preenchimento do módulo *Decide*.

Figura 8 - Módulo Decide



Fonte: Autoria própria.

Depois da divisão do fluxo, cada finalidade foi representada por um módulo *Process*, os quais representam os processos de análise do pedido de outorga, de acordo com cada finalidade. A lógica usada foi *Seize Delay Release* e a expressão colocada foi a encontrada usando o *Input Analyser*. Deve-se mencionar que a lógica do *Seize Delay Release* significa que a entidade segura o recurso (*Seize*), ocupa o mesmo durante um intervalo de tempo (*Delay*) e, posteriormente, o libera (*Release*). Cada finalidade possui uma expressão diferente que reflete o tempo de processamento dos pedidos. Como exemplo, a Figura 9 representa o módulo *Process* da finalidade de Abastecimento.

Figura 9 - Módulo Process

Fonte: Autoria própria.

Além disso, foi adicionado a cada processo um recurso representando a mão de obra dos analistas utilizada para a realização das análises, conforme demonstrado na Figura 10. A quantidade de analistas gira em torno de 15 (*capacity*) e foi levantada durante as entrevistas com o corpo técnico da ANA.

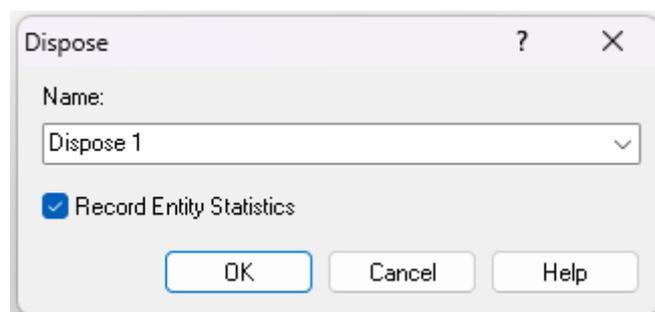
Figura 10 - Resource - Basic Process

Resource - Basic Process			
	Name	Type	Capacity
1	Especialista Min	Fixed Capacity	3
2	Especialista Irrig	Fixed Capacity	4
3	Especialista Ind	Fixed Capacity	1
4	Especialista Aqui	Fixed Capacity	4
5 ▶	Especialista Abas	Fixed Capacity	3

Fonte: Autoria própria.

Por fim, os módulos *Process* foram conectados ao módulo *Dispose* para encerrar o modelo, conforme exposto na Figura 11. Deve-se ressaltar que os modelos de simulação implementados no Arena são finalizados com o módulo *Dispose*.

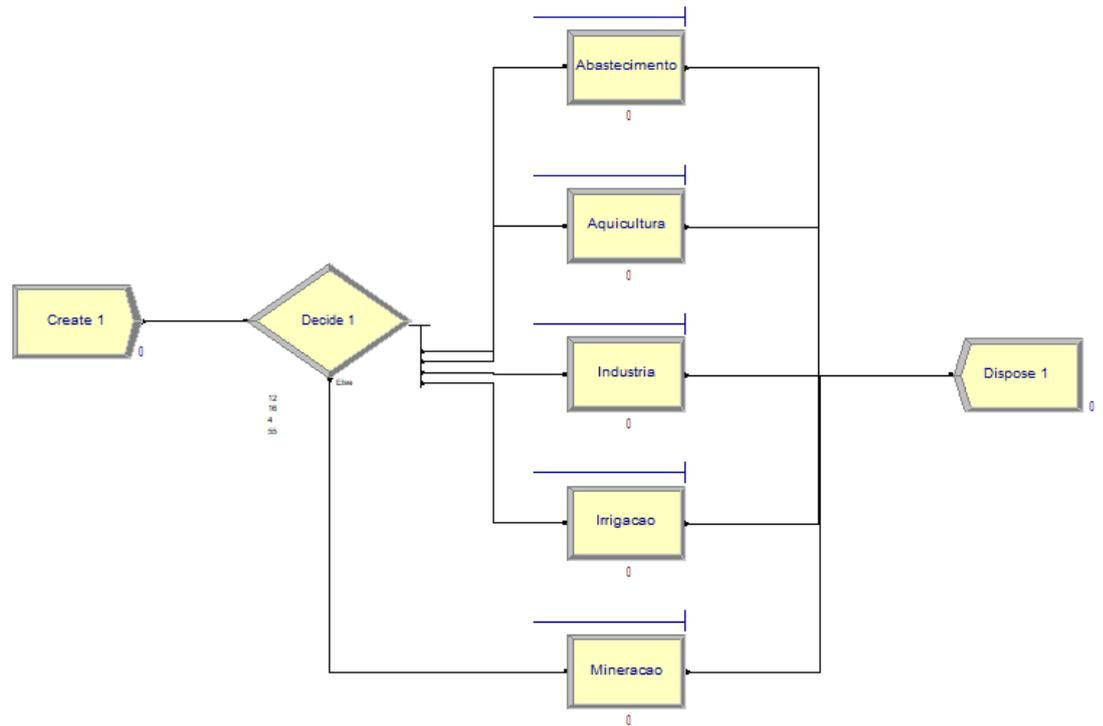
Figura 11 - Módulo Dispose



Fonte: Autoria própria.

A Figura 12 representa o modelo desenvolvido no Arena completo, conforme explicado anteriormente. Deste modo, inicialmente os processos entram no sistema (módulo *Create*), eles são divididos (módulo *Decide*) e esses mesmos processos de outorga são analisados e concluídos (módulos *Process* e *Dispose*)

Figura 12 - Modelo desenvolvido no Arena



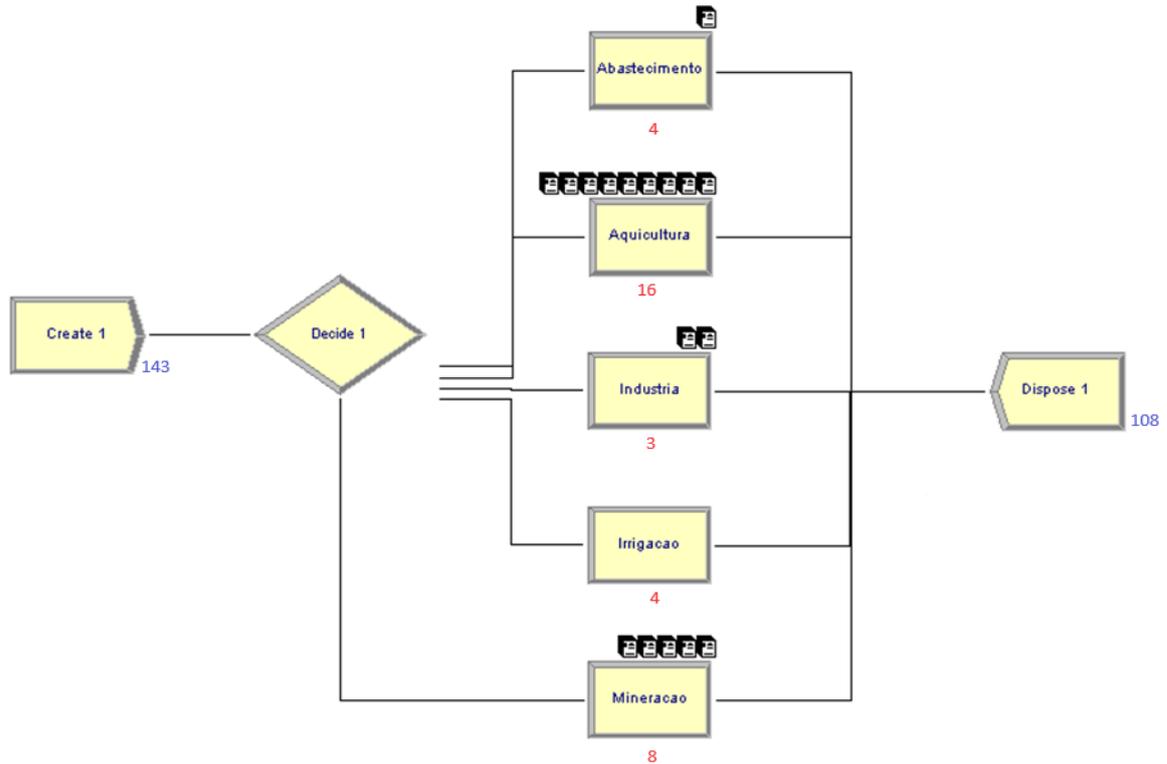
Fonte: Autoria própria.

Os módulos usados para criar o modelo foram o *Create*, para iniciar o processo, o *Decide*, para dividir o fluxo, o *Process*, para os processos de análise do pedido; e o *Dispose*, para encerrar o modelo. A unidade de tempo utilizada foi de dias.

#### 4.6 Validação do modelo

Após a criação do modelo, era preciso validá-lo, a fim de verificar se ele condizia com a realidade. Portanto, o número de processos que saiam do modelo deveria estar próximo do número indicado na base de dados.

Figura 13 - Modelo desenvolvido no Arena após a simulação



Fonte: Autoria própria.

Nessa etapa de validação foram feitos ajustes a fim de que o modelo retratasse a realidade. Foram testadas outras opções de fluxos e as equações também foram submetidas a análises. A Figura 13 representa o modelo no Arena depois de rodar a simulação, é possível observar a formação de filas, o número de processos recebidos e a quantidade de processos finalizados.

#### 4.7 Análise dos resultados e sugestões

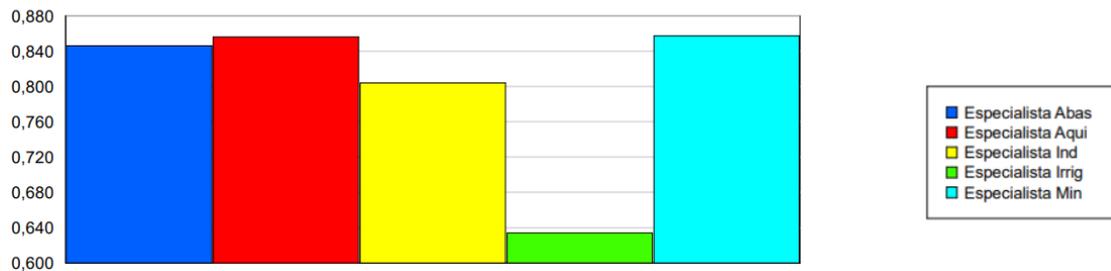
Com o modelo retratando a realidade, é possível identificar gargalos e analisar como melhorar a eficiência do processo de concessão de outorgas na ANA. Como é possível observar na Figura 13, há a formação de filas nos processos de análise. As filas que mais chamam a atenção são as dos processos de Aquicultura e Dessedentação Animal e de Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos.

Para facilitar a análise, o Arena gera um relatório após cada simulação. A partir dele é possível avaliar as filas e os recursos utilizados. A Figura 14 é uma parte do

relatório, da seção de Recursos. Os especialistas da finalidade Abastecimento Urbano e Saneamento, Aquicultura e Dessedentação Animal e de Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos são os mais sobrecarregados.

Figura 14 - Relatório Arena - Recursos

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Especialista Abas	0.8461	0,09	0.5940	0.9865
Especialista Aqui	0.8561	0,06	0.6951	0.9593
Especialista Ind	0.8041	0,12	0.4713	0.9762
Especialista Irrig	0.6340	0,05	0.5569	0.7836
Especialista Min	0.8573	0,09	0.6390	0.9674



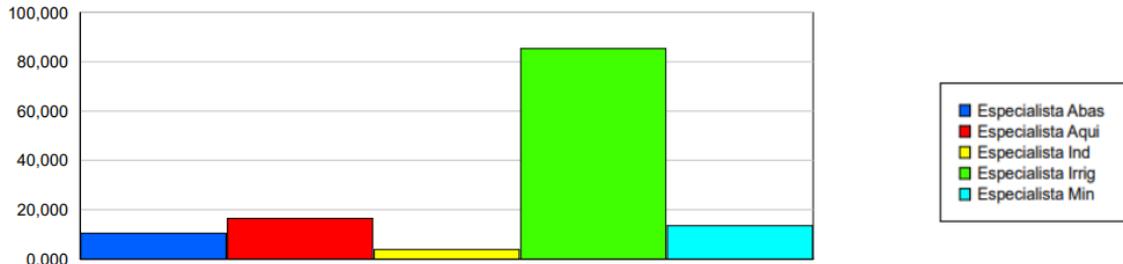
Fonte: Autoria própria.

Já pela Figura 15 nota-se que o grupo de especialistas que liberou a maior quantidade de processos foram os da finalidade Irrigação, analisando um total de 85 processos. Em contrapartida, o menor número de outorgas processadas foram o da Indústria, aproximadamente 4. Análises futuras deveriam ser realizadas para avaliar essas discrepâncias no número de processos de outorga, se decorrem por exemplo, da complexidade dos mesmos ou do número de analistas disponíveis.

Figura 15 - Relatório Arena - Utilização Recursos

## Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Especialista Abas	10.5000	1,48	8.0000	14.0000
Especialista Aqui	16.4000	0,97	15.0000	19.0000
Especialista Ind	3.8000	0,74	2.0000	5.0000
Especialista Irrig	85.4000	6,76	75.0000	104.00
Especialista Min	13.5000	1,27	10.0000	16.0000



Fonte: Autoria própria.

A Figura 16 contém ainda a parte do relatório que traz o resultado das filas, o tempo de espera de cada finalidade e o número de processos aguardando análise. Com exceção da finalidade Irrigação, as demais finalidades apresentam tempos de espera significativos, pois o tempo de espera (*waiting time*) varia de 2 dias para a Irrigação (1,94 dias) a 69 dias para a Indústria (68,9 dias).

Figura 16 - Relatório Arena - Filas

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento.Queue	45.5487	19,83	9.2244	98.5833	0.00	204
Aquicultura.Queue	52.1540	19,34	0.9112	80.0543	0.00	206
Industria.Queue	68.9281	29,41	6.6298	115.13	0.00	230
Irrigacao.Queue	1.9442	0,76	0.8006	3.9892	0.00	19.45
Mineracao.Queue	48.2105	26,41	5.4449	118.37	0.00	215
Other						
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento.Queue	2.2057	0,95	0.7518	4.3346	0.00	12.00
Aquicultura.Queue	4.6089	2,00	0.04244066	8.5561	0.00	25.00
Industria.Queue	1.4509	0,71	0.07265499	2.6378	0.00	6.00
Irrigacao.Queue	0.4876	0,22	0.1645	1.0601	0.00	8.00
Mineracao.Queue	3.1866	2,13	0.1848	8.6702	0.00	16.00

Fonte: Autoria própria.

Com o objetivo de reduzir o tempo de espera e as filas, adicionou-se mais um especialista nos três processos mais sobrecarregados que são o de Abastecimento Urbano e Saneamento; o de Aquicultura e Dessedentação Animal; e o de Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos. Com essa adição o número total de analistas passou de 15 para 18 (*capacity*), conforme evidenciado na Figura 17.

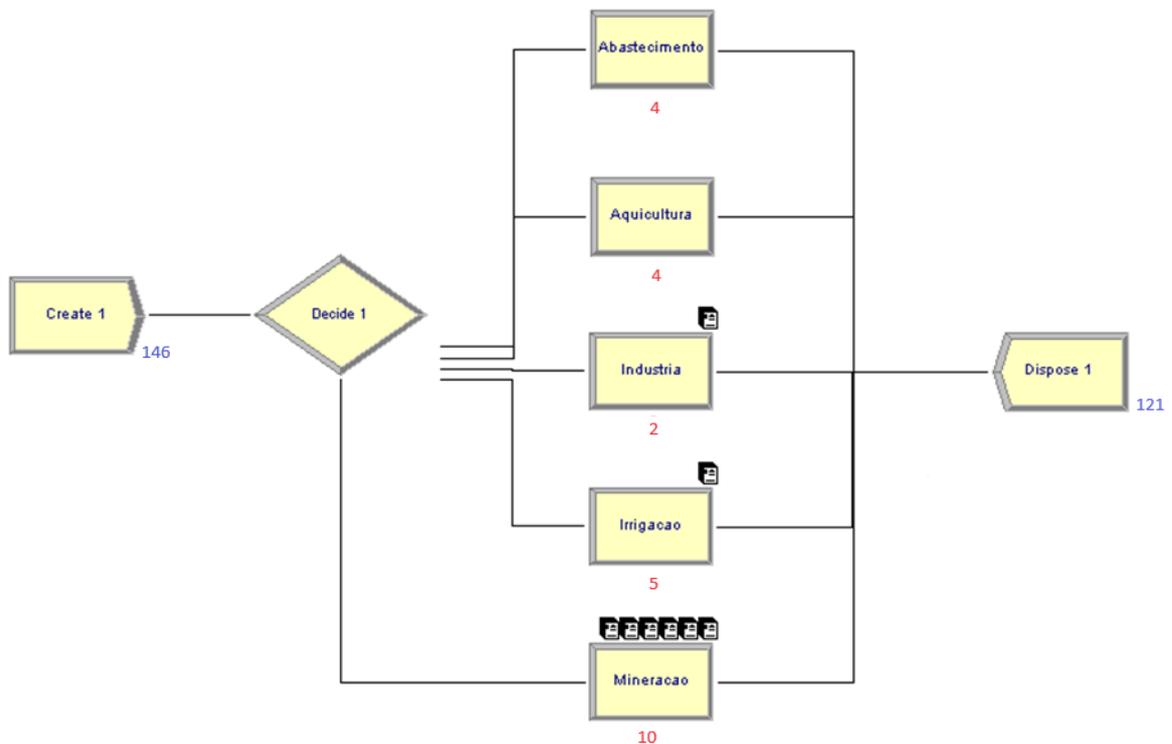
Figura 17 - Recursos após alteração

Resource - Basic Process			
	Name	Type	Capacity
1	Especialista Min	Fixed Capacity	4
2	Especialista Irrig	Fixed Capacity	4
3	Especialista Ind	Fixed Capacity	1
4	Especialista Aqui	Fixed Capacity	5
5 ▶	Especialista Abas	Fixed Capacity	4

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 18, é possível observar que a adição dos especialistas reduz significativamente as filas apresentadas nos processos.

Figura 18 - Modelo no Arena após alteração



Fonte: Autoria própria.

Além disso, comparando os valores apresentados na Figura 16 com os apresentados na Figura 19, a adição dos especialistas teve um efeito significativo nos tempos de espera dos processos. Deve-se mencionar que para o processo de Mineração, apesar de na Figura 18 ele apresentar uma fila acentuada, o tempo de espera foi reduzido para este processo de 48 dias (Figura 16) para 24 dias (Figura 19).

Figura 19 - Relatório Arena - Filas após alteração

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento.Queue	28.8356	24,03	0.00	111.59	0.00	197
Aquicultura.Queue	27.4788	13,07	6.9539	72.7834	0.00	140
Industria.Queue	48.0401	37,57	0.00	125.34	0.00	205
Irigacao.Queue	2.1131	0,73	0.9515	4.1387	0.00	22.24
Mineracao.Queue	23.6587	12,32	0.04697555	50.0108	0.00	125
Other						
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento.Queue	1.8541	1,39	0.00	6.6738	0.00	13.00
Aquicultura.Queue	2.0743	1,08	0.3810	5.2456	0.00	12.00
Industria.Queue	1.0134	0,70	0.00	2.7576	0.00	8.00
Irigacao.Queue	0.5429	0,22	0.2033	1.1112	0.00	9.00
Mineracao.Queue	1.6314	0,80	0.00141570	3.3488	0.00	9.00

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 3 apresenta o comparativo entre os tempos de espera antes e depois da inclusão dos três especialistas. Observa-se que para os processos apresentados o tempo de espera diminuiu em pelo menos 37%.

Tabela 3 - Comparativo Tempo de Espera

<b>Finalidade</b>	<b>Antes da alteração (dias)</b>	<b>Após alteração (dias)</b>	<b>% de diminuição</b>
Abastecimento Urbano e Saneamento	45.5487	28.8356	37%
Aquicultura e Dessedentação Animal	52.1540	27.4788	47%
Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos	48.2105	23.6587	51%

*Fonte: Autoria própria.*

Nota-se uma redução de quase metade do tempo médio de espera dos processos. Contudo, a viabilidade da inclusão de mais três analistas precisaria ser estudada mais a fundo, em especial, considerando o custo que o aumento do quadro acarretaria. Além disso, um ponto levantado durante as reuniões com a ANA é de que muito tempo é gasto aguardando que o solicitante responda algum questionamento feito pelos analistas.

Esse tempo de questionamento é ainda maior quando o processo foi iniciado há mais tempo, pois o usuário acaba não estando mais tão atento ao andamento do processo, já que muito tempo se passou desde que ele solicitou a outorga. Portanto, seria importante para trabalhos futuros que as diferentes etapas do processo tivessem seus tempos mais especificados incluindo tempos de questionamento, tempo de nova análise do retorno das respostas e tempo entre término das análises de outorga e publicação, entre outros.

Este detalhamento dos tempos possibilitaria uma melhor análise dos gargalos dos processos de outorga. De qualquer modo, essa grande melhoria da diminuição dos tempos de fila de 37% nos processos de Abastecimento Urbano e Saneamento; de 47% nos de Aquicultura e Dessedentação Animal; e de 51% nos de Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos demonstra a robustez do modelo desenvolvido neste trabalho.

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo principal desse estudo é otimizar o processo de outorga da água na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico do Brasil (ANA). Dessa forma, esse trabalho apresentou uma análise do processo de outorga da Bacia Hidrográfica do São Francisco, empregando a simulação de sistemas com o software Arena para entender, avaliar e propor melhorias no processo realizada na ANA. A pesquisa focou na análise do processo como um todo e na identificação de gargalos, propondo soluções para reduzir os tempos de espera no processo de outorga.

A metodologia do trabalho consistiu em sete fases, iniciando com o entendimento do fluxo do processo de outorga. Os dados fornecidos pela ANA foram filtrados, excluindo outliers e estabelecendo uma janela de tempo de 2019 a 2022. Reuniões com funcionários da ANA e consultas ao Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (2013) foram essenciais para compreender o fluxo do processo.

Utilizando o Input Analyser do Arena, os dados de tempo do processo foram analisados e incorporados ao modelo. O Arena foi então empregado na criação do modelo, para a sua validação comparando os resultados do Arena com os dados reais da ANA. Após a validação, foram simulados diferentes cenários para sugerir melhorias no fluxo e na gestão dos recursos disponíveis, visando identificar possíveis gargalos no processo de outorga.

A análise dos dados revelou que os processos de Abastecimento Urbano e Saneamento, Aquicultura e Dessedentação Animal, e Mineração, Travessias, Serviços e Outros Usos apresentavam os maiores tempos de espera. Utilizando o modelo de simulação, foi possível identificar que a adição de especialistas nestas áreas reduziria significativamente os tempos de espera, evidenciando a necessidade de alocar recursos humanos de forma mais eficiente.

Por fim, as limitações do estudo, como o foco na Bacia do São Francisco e a dependência dos dados fornecidos pela ANA, abrem caminho para pesquisas futuras. Estudos adicionais poderiam explorar a aplicação deste modelo em outras bacias hidrográficas e a análise de custo-benefício da implementação das

melhorias sugeridas. Além disso, outras partes do processo de outorga podem ser analisadas a fim de identificar outros caminhos de melhoria do processo.

O estudo destacou a importância de ferramentas de simulação na tomada de decisões estratégicas. Os resultados obtidos não só proporcionam percepções importantes para a ANA, mas também servem como um modelo replicável para outras bacias hidrográficas e contextos. A Pesquisa Operacional e a simulação de sistemas são ferramentas valiosas para a melhoria operacional de processos em todas as indústrias. Este trabalho contribui para a área de gestão de recursos hídricos e de Pesquisa Operacional. Ele demonstra como a simulação de sistemas pode ser utilizada para otimizar processos em agências reguladoras, fornecendo uma abordagem baseada em dados para a tomada de decisões.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/433>>

AZIATI, AH Nor; HAMDAN, Nur Salsabilah Binti. **Application of queuing theory model and simulation to patient flow at the outpatient department**. In: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia. 2018. p. 3016-3028.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 1.

BRASIL. **Lei nº 9.984**, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 jul. 2000.

CARSON, John S. **Introduction to modeling and simulation**. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005. IEEE, 2005. p. 8 pp.

COLLISCHONN, Bruno. **Sistema de apoio à decisão para outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2014.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9ª Edição. São Paulo: McGRAW-HILL, 2013.

INFORMS. **FAQs About O.R. & Analytics**. Disponível em: <https://www.informs.org/Resource-Center/INFORMS-Student-Union/FAQs-About-O.R.-Analytics>. Acesso em: 03 nov. 2023.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 4. ed. Nova Iorque: McGraw Hill, v. I, 2006.

KAKOOEI, Sina et al. Application of queuing theory and simulation model to reduce waiting time in dental hospital. **Journal of Oral Health and Oral Epidemiology**, v. 11, n. 3, p. 140-145, 2022.

LAKSHMI, C.; IYER, Sivakumar Appa. **Application of queueing theory in health care: A literature review**. *Operations research for health care*, v. 2, n. 1-2, p. 25-39, 2013.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do; SOUSA, F. L. Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática—como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas. Estudos avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.

PRADO, Darci; YAMAGUCHI, Magno. **Usando o Arena em simulação**. 4ª Edição. Nova Lima: Falconi Editora, 2014.

ROCKWELL AUTOMATION. **Arena Simulation Software**. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/software/arena-simulation/discrete-event-modeling.html>. Acesso em: 03 nov. 2023.

ROSS, Sheldon M. **Simulation**. 5ª Edição. San Diego: Academic Press, 2013.

ROSSETTI, Manuel D. **Simulation modeling and Arena**. Danvers: John Wiley & Sons, 2015.

SILVA, Liane Márcia Freitas; PINTO, Marcel de Gois; SUBRAMANIAN, Anand. **Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção**. XXVII ENEGEP. Florianópolis, 2007.

TAHA, Hamdy A. **Operations research: an introduction**. 8ª Edição. New Jersey: Pearson Education India, 2013.

WINSTON, Wayne L. **Operations research: applications and algorithm**. Thomson Learning, Inc., 2004.