



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA EM ANIMAIS DE  
LABORATÓRIO - MESTRADO PROFISSIONAL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM BIOMODELOS  
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

Igor Machado de Castro

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE  
BIOTÉRIOS APOIADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Rio de Janeiro

2023

Igor Machado de Castro

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE  
BIOTÉRIOS APOIADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência em Animais de Laboratório do Instituto de Ciência e Tecnologia em Biomodelos - Fiocruz/RJ, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciência em Animais de Laboratório.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Klena Sarges Marruaz da Silva  
Coorientador: Dr. Carlos Eduardo de Andrade Lima Rocha

Rio de Janeiro

2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

Machado de Castro, Igor.

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE BIOTÉRIOS APOIADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL / Igor Machado de Castro. - Rio de Janeiro, 2023.

86 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Instituto de Ciência e Tecnologia em Biomodelos, Pós-Graduação em Ciência em Animais de Laboratório, 2023.

Orientadora: Klena Sarges Marruaz da Silva.

Co-orientadora: Carlos Eduardo de Andrade Lima Rocha.

Bibliografia: f. 80-86

1. gestão de biotérios. 2. inovação. 3. software livre. 4. inteligência artificial. 5. machine learning. I. Título.

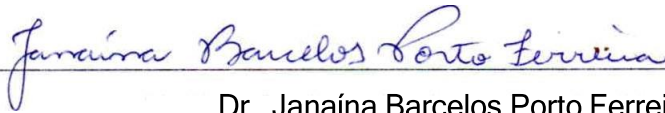
Igor Machado de Castro

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE  
BIOTÉRIOS APOIADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência em Animais de Laboratório do Instituto de Ciência e Tecnologia em Biomodelos - Fiocruz/RJ, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciência em Animais de Laboratório.

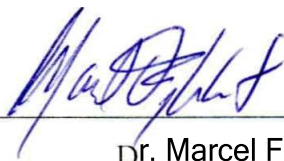
Aprovada em: Rio de Janeiro, 30 de março de 2023

BANCA EXAMINADORA



---

Dr. Janaina Barcelos Porto Ferreira  
(Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ)



---

Dr. Marcel Frajblat  
(Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ)



---

Dr. Rodrigo Clemente Thorn de Souza  
(Universidade Federal do Paraná -UFPR)

À minha família, por todo o apoio incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Aos **familiares**, pelo carinho e apoio que sempre me deram.

À minha orientadora **Klena Sarges**.

Ao meu coorientador **Carlos Eduardo de Andrade** por fazer-se presente em todos os momentos que precisei.

À Professora **Fabiana Knackfuss**, pela doação do seu tempo, colaborando nas compreensões das análises estatística do estudo.

A todos os professores do Mestrado Profissional em Ciência em Animais de Laboratório por fazer-me compreender e aliar, de modo tão didático, uma nova área de conhecimento com Ciência da Computação, minha formação acadêmica original.

Aos amigos do SBDA e SCRL que contribuíram para a confecção desse trabalho, sempre serei grato por todo apoio que recebi desde a minha entrada para o laboratório, equipe essa que tenho muito orgulho em fazer parte.

Aos amigos que ganhei através do Mestrado Profissional em Ciência em Animais de Laboratório, que caminharam ao meu lado nessa jornada diferente.

“Não viva para que a sua presença seja notada, mas para que a sua falta seja sentida.”

## RESUMO

O desenvolvimento e manutenção de colônias de reprodução de camundongos tem sido parte integrante da pesquisa biomédica por quase um século. A gestão de biotérios, na atualidade, necessita de ferramentas tecnológicas que auxiliem na administração das colônias, com o objetivo de reduzir ou evitar desperdício de animais e de recursos financeiros, além de garantir a produção eficiente de animais com o estado sanitário desejável para utilização em pesquisas biomédicas. Há um crescente uso de modelos computacionais e *software livre* para aplicação do Princípio dos 3Rs (*Replacement, Reduction, Refinement*). Sistemas computacionais com auxílio de inteligência artificial podem ajudar na aplicação do Princípio dos 3Rs, ao permitir a redução de animais criados e, ao mesmo tempo, auxiliar no planejamento e logística da criação de animais utilizados em pesquisa, aplicando assim também o refinamento. Embora existam sistemas para gestão de biotérios disponíveis no mercado, estes possuem como desvantagens a cobrança de assinatura a custos elevados para a realidade dos biotérios públicos nacionais, serem sistemas proprietários e de código-fonte fechado, o que inviabiliza customizações para se adaptarem à realidade de cada biotério. O projeto aqui apresentado propõe o desenvolvimento de um *software* de gestão de biotérios de uso livre, de código-fonte aberto, com aplicação de ferramentas analíticas e preditivas a fim de auxiliar a gestão e a área operacional na criação e fornecimento de animais do Instituto de Ciência e Tecnologia em Biomodelos (ICTB) da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) aos pesquisadores e responsáveis técnicos dos demais laboratórios experimentais da instituição, a fim de informatizar os processos de trabalho, planejar os custos, otimizar o cálculo da produção e disponibilizar relatórios gerenciais. Como resultados, foram identificadas necessidades como a previsão da demanda de animais para produção/fornecimento e a medição do nível de risco de descarte animal, disponíveis na versão do protótipo desenvolvido.

**Palavras-chave:** gestão de biotérios; software livre; inteligência artificial; *machine learning*.



## ABSTRACT

The development and maintenance of mouse breeding colonies has been an integral part of biomedical research for nearly a century. The management of a vivarium today requires technological tools that support the administration of the colonies, aiming to avoid waste of financial resources and animals, in addition to guaranteeing the efficient production of animals with the correct genotype and desirable health status for use in biomedical research. . There is a growing use of computational models and software to apply the 3Rs Principle. Computer systems with the aid of artificial intelligence can help in the application of the Principle of the 3Rs, by allowing the reduction of animals raised and, at the same time, assisting in the planning and logistics of raising animals used in research, thus also applying refinement. Although there are systems for the management of vivariums available on the market, these have the disadvantages of charging a subscription at high costs for the reality of national public vivariums, being proprietary and closed-source systems, which makes customizations to adapt to the reality of each vivarium. The project presented here proposes the development of software for the management of vivariums for free use, with open source code, with the application of analytical and predictive tools in order to assist the management and operational area in the creation and supply of animals at the Instituto de Ciência and Technology in Biomodels (ICTB) of the Oswaldo Cruz Foundation (Fiocruz) to the researchers and technicians in charge of the institution's other experimental laboratories, in order to computerize work processes, cost planning, production calculation and management reports. As preliminary results, some needs of the ICTB production vivarium have already been identified, such as forecasting the demand for animals for production and supply, as well as measuring the level of animal disposal, which will receive specific functionalities in the software, already developed and available in the version of the developed prototype.

**Keywords:** management of vivariums; open source; artificial intelligence; machine learning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Dr <sup>a</sup> Abbie Lathrop, precursora da criação de animais de laboratório.....	18
Figura 2. Representação em infográfico do Princípio dos 3Rs.....	22
Figura 3. Sala de criação do ICTB/Fiocruz .....	25
Figura 4. Métricas de classificação .....	31
Figura 5. Matriz de confusão .....	32
Figura 6. Arquitetura geral do RodentIA .....	37
Figura 7. Cálculo de produção animal .....	38
Figura 8. Leitura inicial dos dados.....	39
Figura 9. Criação da coluna “dia do mês” .....	40
Figura 10. Exemplo da visualização do gráfico pedidos x distribuição dos dados.....	41
Figura 11. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por linhagem antes do treinamento de algoritmos .....	42
Figura 12. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por mês antes do treinamento de algoritmos.....	42
Figura 13. Visualização da distribuição dos dados de frequência dos pedidos nos períodos de férias antes do treinamento de algoritmos .....	43
Figura 14. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por dia da semana.....	43
Figura 15. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por dia do mês .....	44
Figura 16. Visualização da distribuição dos dados agrupados por linhagem .....	45
Figura 17. Visualização da distribuição dos dados agrupados por mês.....	45
Figura 18. Visualização da distribuição dos dados agrupados por período de férias .....	46
Figura 19. Visualização da distribuição dos dados agrupados por dia da semana .....	46
Figura 20. Visualização da distribuição dos dados agrupados por dia do mês.....	47
Figura 21. Comparação entre labels reais e previstos.....	48
Figura 22. Linha de regressão gerada para observação de rótulos previstos e rótulos reais....	48
Figura 23. Métricas de avaliação do modelo .....	49
Figura 24. Resultado do treinamento com variante Lasso .....	50
Figura 25. Métricas obtidas com aplicação de Árvores de Decisão .....	50
Figura 26. Métricas obtidas com aplicação de algoritmos ensemble (Random Forest) .....	51
Figura 27. Métricas obtidas com aplicação de algoritmos Ensemble (Gradient Boosting) .....	52
Figura 28. Alteração de hiperparâmetros do algoritmo de melhor resultado, o GradientBoosting .....	53
Figura 29. Métricas com GradientBoosting.....	55
Figura 30. Métricas com Random Forest.....	56
Figura 31. Inserção de novos dados para inferência .....	56
Figura 32. Previsão do modelo para um período de oito dias.....	57
Figura 33. Registro de nascimento por ordem de parto com informações de cada animal .....	58
Figura 34. Domínio de dispositivos tecnológicos.....	59
Figura 35. Dispositivos preferenciais para acesso à internet .....	59
Figura 36. Principais escolhas de como os usuários gostariam de receber as notificações .....	60

Figura 37. Criação das personas representantes dos grupos de usuários do sistema.....	61
Figura 38. Exemplo de ficha para registro das informações zootécnicas .....	65
Figura 39. Tela de cálculo da produção .....	66
Figura 40. Módulo para medição da margem de risco, indicando uma margem de risco alto para a linhagem Black, de acordo com os demais fatores estabelecidos .....	67
Figura 41. Módulo para medição da margem de risco, indicando uma margem de risco baixa para a linhagem Swiss, de acordo com os demais fatores estabelecidos .....	67
Figura 42. Tela para registro de ocorrências dentro das salas de criação. ....	68
Figura 43. Tela para consulta dos Procedimentos Operacionais, documentos elaborados pela equipe de qualidade.....	69
Figura 44. Fases com potencial de geração de viés para um sistema de IA .....	71
Figura 45. Pipeline de inovação.....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**3Rs** – *Reduction, Replacement, Refinement*

**AALAS** - *American Association for Laboratory Animal Science*

**ACP** - *American Care Panel*

**AnGM** – Animal Geneticamente Modificado

**BI** - *Business Intelligence*

**BPEA** - Boas Práticas de Experimentação Animal

**CADD** - *Computer Aided Drug Design*

**CAL** - Ciência em Animais de Laboratório

**CEUA** – Comissão de Ética no Uso de Animais

**CONCEA** – Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal

**CSS** - *Cascading Style Sheets*

**FIOCRUZ** – Fundação Oswaldo Cruz

**HTML** - Hyper Text Markup Language

**IA** – Inteligência Artificial

**IAT**– Institute of Animal Technology

**ICTB** – Instituto de Ciência e Tecnologia em Biomodelos

**LAB** - *Laboratory Animal Bureau*

**LAC** - *Laboratory Animals Center*

**MSE** – *Mean Square Error*

**ML** – *Machine Learning*

**POP** – Procedimento Operacional Padrão

**R<sup>2</sup>** – *R-Squared*

**RMSE** – *Root Mean Square Error*

**SICOPA** - Sistema de Controle da Produção Animal

**SQL** - *Structured Query Language*

**TI** – Tecnologia da Informação

**UX** – *User Experience*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1. Criação e Experimentação de Animais de Laboratório – breve histórico.....	16
2.2. A importância da experimentação animal para a Saúde Pública .....	19
2.3. A gestão do biotério e seu impacto na aplicação dos 3Rs e na cadeia produtiva .....	21
2.4. <i>Software</i> auxiliando a gestão de biotérios .....	23
2.5. Aprendizado de Máquina como ferramenta de apoio à gestão .....	25
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>32</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>33</b>
4.1. Objetivo Geral .....	33
4.2. Objetivos específicos .....	33
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
5.1. Público-alvo .....	34
5.2. Escolha do nome do sistema .....	35
5.3. Construção das funcionalidades.....	35
5.4. Arquitetura do software .....	36
5.5. Algoritmos de Aprendizado de Máquina ( <i>Machine Learning</i> ) utilizados.....	38
5.5.1. Treinamento do Modelo.....	47
5.5.2. Avaliação do modelo .....	47
5.5.3. Algoritmo de Árvore de Decisão .....	50
5.5.4. Algoritmos Ensemble.....	51
5.5.5. Otimização dos parâmetros e do processamento.....	53
5.5.6. Aplicação do modelo treinado .....	56
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
6.1. Registros de informações zootécnicas.....	57
6.2. Funcionalidades sobre os dados zootécnicos .....	58
6.3. Resultados da pesquisa de UX Design .....	59
6.4. Sistematização dos processos e fluxos de trabalho .....	65
6.5. Cálculo de produção.....	66
6.5. Previsão de animais fornecidos e medição da margem de risco .....	66
6.7. Disponibilização dos POPs .....	68
<b>7. DISCUSSÃO</b> .....	<b>69</b>
<b>8. CONCLUSÃO</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>9. PRODUTOS GERADOS</b> .....	<b>755</b>
<b>10. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>76</b>
<b>11. APÊNDICE</b> .....	<b>82</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os animais são utilizados há centenas de anos para auxiliar grandes descobertas sobre o funcionamento dos organismos e células, mecanismos de doenças, novos procedimentos cirúrgicos, terapias e vacinas, assim como ajudando a compreender melhor o comportamento humano e animal (ANDRADE; PINTO; OLIVEIRA, 2002).

Estudos pré-clínicos requerem animais sanitariamente e geneticamente controlados e certificados, além de grandes investimentos em recursos humanos especializados e instalações, com necessidade de Boas Práticas de Experimentação Animal (BPEA), entre muitas outras exigências – constituindo-se certamente, por esta razão, como um dos principais gargalos para o processo de inovação e desenvolvimento tecnológico em imunobiológicos em nosso país. (HOMMA, A. et al, 2020). Como os animais são utilizados em testes de eficiência, toxicológicos e na produção de novos fármacos e imunobiológicos, os mesmos participam de uma cadeia de desenvolvimento destes produtos em saúde do qual fazem parte os biotérios, na contemporaneidade chamados de instalações de animais utilizados em pesquisas, que podem ser instalações de criação, passando pelas de manutenção, até aquelas onde se realizam a experimentação animal, nas quais os testes são realizados até que o produto final seja seguro o suficiente para entrar na fase de testes clínicos.

Devido à enorme importância dos animais para a saúde humana, a Ciência em Animais de Laboratório (CAL) começou a tomar forma como uma ciência com várias linhas de pesquisa a serem estudadas a partir de 1950, quando foi criado o *American Care Panel* (ACP), uma associação proposta por um grupo pioneiro de cinco veterinários dos EUA e Canadá, o qual propôs o estabelecimento de um painel nacional de cuidados com os animais. O ACP foi o embrião da *American Association for Laboratory Animal Science* (AALAS), associação americana que atualmente organiza eventos científicos e é responsável pela editoração de duas importantes revistas científicas para a CAL (MULDER, 1999).

A partir da década de 1958, iniciou-se um movimento mundial para aplicação do Princípio dos 3Rs na experimentação animal, preconizado por Russel e Burch (RUSSEL; BURCH, 1959), priorizando a redução (*Reduction*) do número de animais utilizados, a substituição (*Replacement*) deles, sempre que possível, por métodos alternativos que devem ser validados, e o Refinamento (*Refinement*) das técnicas e procedimentos utilizados na experimentação animal a fim de proporcionar bem-estar animal.

Há uma crescente, desde o início deste século XXI, no uso de modelos computacionais e *software* para aplicação dos 3Rs. Estas abordagens que utilizam linguagem computacional vêm

sendo desenvolvidas para validar novas drogas ou moléculas ou para auxiliar a gestão de biotérios.

Modelos computacionais especializados também podem ajudar a projetar novos medicamentos. As simulações são geradas por computador para prever os vários possíveis fatores biológicos e efeitos tóxicos de um produto químico ou candidato a medicamento potencial sem a utilização de animais. A partir da modelagem prévia feita em computador, apenas as moléculas mais promissoras obtidas a partir de triagem primária serão usadas para experimentação *in vivo*. O *software* conhecido CADD (*Computer Aided Drug Design*) é um exemplo. Ele foi criado para prever o sítio receptor de ligação para uma molécula candidata à droga, evitando o teste de produtos químicos em atividade biológica. Além disso, com a ajuda de programas de *software* como este para modelagem computacional, podemos personalizar um novo medicamento para um local de ligação específico para, só em seguida, no estágio final deste processo, o teste ser realizado em animais (DOKE; DHAWALE, 2015; VEDANI, 1991).

Modelos computacionais são capazes de prever e simular resultados de pesquisa a partir da coleta de dados brutos recolhidos em cada experimentação animal. Portanto, o aprendizado de máquina auxilia na predição, por exemplo, das reações esperadas de certas substâncias no organismo de determinada espécie, evitando assim que experimentos e testes sejam repetidos desnecessariamente nesses animais (AVILA; ADRIAN, 2022).

Basicamente, a área de conhecimento conhecida como Inteligência Artificial (IA) tem como objetivo prover modelos computacionais a partir do treinamento de algoritmos sobre conjuntos extensos de dados previamente fornecidos. Os algoritmos utilizam técnicas matemáticas, estatísticas e de programação a fim de gerar os modelos computacionais, que são o resultado final do processo e representam, basicamente, funções matemáticas capazes de reconhecer padrões em cima de novos dados apresentados e, dessa forma, fornecer previsões. Podem ser criados tanto a partir de algoritmos mais simples, como os de Regressão Linear, quanto mais complexos, como as redes neurais com múltiplas camadas de processamento (*Deep Learning*, subárea de *Machine Learning*). (KISSINGER; SCHIMIDT; HOTTENLOCHER, 2021).

O ICTB, desde a década de 1990, utiliza o Sistema de Controle da Produção Animal (SICOPA) para solicitação de animais, derivados e insumos. O sistema opera com os módulos de registro da previsão, onde os usuários informam a quantidade de animais que planejam utilizar no semestre, assim como o cadastro do pedido, que é a requisição contendo a quantidade solicitada. Inicialmente, o registro da previsão era utilizado para nortear a produção de animais criados, o que gerava uma produção excessiva, uma vez que os animais eram



solicitados, efetivamente, em menor número do que aqueles registrados na previsão inicial, levando ao desperdício de insumos e descarte de animais. Em 2017, o SICOPA passou por modificações que tiveram como objetivo a aplicação do princípio dos 3Rs na logística da criação dos biomodelos no ICTB, cuja reformulação foi parte do projeto de revisão dos processos internos de produção e fornecimento de animais. Uma das alterações no processo foi a inclusão de penalidades em caso de cancelamento do pedido de animais por parte dos pesquisadores, com o objetivo de reduzir o descarte (SILVA *et al.*, 2018).

Na avaliação das necessidades atuais, o sistema não permite o acompanhamento das fichas de criação dos animais e seus fluxos internos mapeados em processo, não informatiza a gestão das salas e das gaiolas nos racks ventilados, assim como não inclui a administração de tarefas pelos técnicos e visualização de relatórios de produção dos animais, dificultando a gestão e, conseqüentemente, o planejamento de custos e tomadas de decisões.

Sistemas com auxílio de IA podem ajudar na aplicação do Princípio dos 3Rs, ao permitir a Redução de animais criados com a previsão de acordo com os pedidos anteriores e, ao mesmo tempo, auxiliar no planejamento de logística da criação de animais utilizados em pesquisa, aplicando assim o Refinamento.

Desta forma, propõe-se o desenvolvimento de um sistema para solucionar as lacunas existentes no que diz respeito ao acompanhamento das etapas de criação com a geração das fichas e dados zootécnicos, previsão de animais a serem criados, implementação de relatórios em tempo real das diversas atividades atreladas à criação de animais a fim de acompanhamento por parte dos gestores, disponibilização de funcionalidades para auxiliar as estimativas de custos do biotério com insumos, controle das salas e estantes e, finalmente, uma melhor comunicação entre seus usuários, tanto internos quanto externos.

Este projeto foi submetido ao Edital Inova Gestão Fiocruz 2020 tendo obtido aprovação em resultado divulgado em 11/12/2020 (Apêndice) e foi desenvolvido no ambiente do Laboratório de Inovação do ICTB/Fiocruz.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Criação e Experimentação de Animais de Laboratório – breve histórico**

A dissecação de animais com finalidade didática ou científica é praticada desde a antiguidade. Há registro de sua origem na Grécia Antiga, nos experimentos de Hipócrates, o “pai da medicina”, e de Alcmeon, que em 500 a.C. comparava órgãos de animais e de humanos.

Aproximadamente no mesmo período, fisiologistas, como Herófilo (300-250 a.C.) e Erasítrato (350-240 a.C.), também recorriam à experimentação animal com o intuito de obter informações acerca do funcionamento dos sistemas orgânicos (BAEDER et al., 2012). Aristóteles (384-322 a.C.) também defendia a superioridade de humanos em relação aos animais, estabelecendo uma hierarquia natural na qual os seres com menor capacidade de raciocínio deveriam beneficiar aqueles considerados mais racionais.

Os anos se passaram e confirmaram a importância dos animais para os avanços em medicina humana e veterinária. Inúmeras são as contribuições da experimentação animal relatadas. Em especial, houve um aumento da experimentação biomédica utilizando animais a partir da Segunda Guerra Mundial, com investimentos que possibilitaram uma enorme expansão do uso de animais na indústria farmacêutica liderada pelas descobertas da penicilina e estreptomicina (ROWAN, 2007).

Atualmente, os animais de laboratório são utilizados em muitas áreas de pesquisa, com o objetivo de estudar os processos biológicos e modelagem de processos anormais ou patológicos. A grande maioria dos animais de laboratório usados em pesquisas são roedores, com aumento considerável de camundongos em importância devido ao crescente uso de técnicas transgênicas (ANDRADE; PINTO; OLIVEIRA, 2002).

A partir do século XX, a criação de animais destinados a pesquisas iniciou um refinamento dos métodos aplicados. Uma das pioneiras no refinamento de métodos de acasalamentos de animais de laboratório foi a Dra. Abbie Lathrop (MCNEILL, 2018), que criou uma variedade de animais - ferrets, coelhos, cobaias, ratos, e, mais notavelmente, camundongos – em sua fazenda em Massachusetts (EUA) (Figura 1).

Ela também colaborou com o Dr. C.C. Little, fundador do *Jackson Laboratories*, um dos maiores biotérios da iniciativa privada do mundo, assim como com o Dr. William Castle, outro pioneiro em estudos de genética em camundongos, em estudos sobre acasalamentos de camundongos. Foi partir dessa época, que começaram a utilizar pesquisas os primeiros animais criados com métodos apropriados, particularmente em estudos em genética, sendo algumas dessas linhagens utilizadas até hoje (PRITCHETT-CORNING et al., 2011; MCNEIL, 2022).

Figura 1. Dr<sup>a</sup> Abbie Lathrop, precursora da criação de animais de laboratório



Fonte: Reprodução de ilustração publicada no Springfield Sunday Republican, 1913.

Em 1947, o Conselho de Pesquisa Médica da Grã-Bretanha estabeleceu o *Laboratory Animals Bureau* (LAB) para desenvolver padrões nacionais de produção animal que permitiriam aos produtores comerciais atender da melhor forma às necessidades dos usuários de animais de laboratório. O Bureau acabou expandindo-se para além desta missão, abrindo caminho para uma nova Ciência, a Ciência em Animais de Laboratório (CAL). O trabalho desta organização, mais tarde denominada *Laboratory Animals Center* (LAC) contribuiu de forma importante para a sistematização de padrões mundiais de produção e provisão de animais de laboratório, estimulando, inclusive, a formação do Comitê Internacional de Animais de Laboratório (KIRK, 2010).

A criação de uma padronização da criação de animais de laboratório facilitou a internacionalização e intercâmbio de linhagens de animais, atuando não só para melhorar a produção destes animais, mas também facilitando a comunicação entre comunidades científicas dispersas (KIRK, 2010).

Desde então, a criação e experimentação animal vem utilizando métodos para gerenciar

o manejo reprodutivo dos animais de laboratório intencionando, sobretudo, a reprodutibilidade e a replicabilidade dos dados científicos obtidos por pesquisadores que utilizam animais. Não é à toa que é necessário o controle do perfil genético dos animais criados em biotérios. Embora as linhagens de animais de laboratório tenham a mesma origem, com o passar do tempo, após sucessivos acasalamentos, elas acabam acumulando mutações genéticas que as tornam diferentes das outras, impactando assim na reprodutibilidade (ANDERSEN et al., 2004).

A organização de procedimentos utilizados na criação e experimentação animal tem também um aspecto de cumprimento ético e de cumprimento das normativas existentes para utilização dos animais de laboratório no ensino e na pesquisa (MORONI; LOEBEL, 2018). Em termos de legislação específica para manutenção e uso de animais em pesquisa, tudo se iniciou com a publicação da *Laboratory Animal Welfare Act*, em 1966, na Inglaterra, a qual demonstrou a importância da regulamentação de práticas de experimentação, criação e manejo de animais de laboratório e inspirou os demais países que atualmente possuem legislação específica para regulamentação das práticas (ALVARADO; DIXON, 2014).

No Brasil, a Lei 11.794 de outubro de 2008 (BRASIL, 2008) estabelece procedimentos para o uso científico de animais, tendo sido regulamentada pelo Decreto 8.699 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010), criando o Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA). O CONCEA estabelece normas e procedimentos para o uso científico e didático dos animais de laboratório por meio das publicações de Orientações Técnicas e Resoluções Normativas, incluindo a Resolução Normativa nº que define os métodos de criação e gerenciamento de colônias de animais criados com a finalidade de uso em pesquisas e ensino. Assim, os biotérios brasileiros necessitam alinhar suas práticas administrativas e técnicas com os procedimentos definidos pela legislação brasileira (MORONI; LOEBEL, 2018).

## **2.2. A importância da experimentação animal para a Saúde Pública**

O Estado Brasileiro tem o desafio de garantir saúde a todos, segundo o Art. 196 da Constituição Federal. Este princípio norteia as diretrizes básicas do Sistema Único de Saúde (SUS) de acesso universal, descentralizado e com prioridade em atividades de prevenção, pesquisa, desenvolvimento científico tecnológico e inovação em saúde (BRASIL, 2009).

O Sistema Único de Saúde (SUS) brasileiro foi criado pela Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, e é a tradução prática do direito constitucional à saúde para todos e dever do Estado. Em seu artigo 7º, a Lei 8.080 salienta que “as ações e serviços públicos de saúde e os serviços privados contratados ou conveniados que integram o SUS são desenvolvidos de acordo

com as diretrizes previstas no art. 198 da Constituição Federal”, tendo como primeiro princípio a universalidade de acesso aos serviços de saúde em todos os níveis de assistência. Desta forma, não somente o atendimento primário e básico em postos, clínicas e hospitais fazem parte do SUS, mas também todas as demais áreas estratégicas para manutenção da saúde da população, como o Plano Nacional de Imunização, a pesquisa em saúde e o desenvolvimento de vacinas e fármacos para distribuição gratuita à população (HOMMA et al., 2020; REIS et al., 2011).

As instituições brasileiras que atuam em Saúde Pública e no SUS mantêm biotérios para fornecimento de animais aos laboratórios para pesquisa em saúde, laboratórios farmacêuticos públicos e fábricas de vacinas, como o ICTB/Fiocruz. A partir deste esclarecimento sobre a dinâmica do SUS, é possível compreender a importância dos animais de laboratório produzidos nestas instituições públicas como parte da importante cadeia de ações estratégicas de prevenção e enfrentamento de doenças coletivas.

Historicamente, o LAB, dirigido inicialmente por R. E. Glover e W. Lane- Petter, reconhecia que não havia um sistema de educação padronizado para provedores de cuidados com animais de laboratório e, sem um programa padrão de educação e treinamento, a qualidade dos cuidados com animais e estudos de pesquisa seriam inconsistentes e variáveis, tendo essa visão dado origem, em 1965, ao atual *Institute of Animal Technology* (IAT), que realiza eventos e capacitações no intuito de melhorar a qualidade e o bem-estar dos animais de laboratório (TAYLOR, 2018).

A partir da criação destas associações, evidenciou-se a importância da gestão dos biotérios para fornecimento de animais com qualidade para utilização nas pesquisas e testes, sem a criação de vieses e o suporte eficiente às necessidades demandadas pelos pesquisadores e laboratórios de experimentação para o desenvolvimento de fármacos e vacinas.

Entretanto, a produção de animais de laboratório nesses biotérios obedece a uma lógica orientada por pedidos entregues pelos usuários com certa antecedência de utilização, não havendo uma produção dirigida para previsão de panoramas diversos e emergenciais em Saúde Pública, sendo essa uma adversidade constatada na gestão de biotérios na última pandemia e que precisa ser aperfeiçoada. Neste sentido, a utilização de ferramentas tecnológicas é um possível meio para alcance do aprimoramento na gestão da produção destes animais. Em biotérios particulares, como os da Jackson (EUA) e Charles River (EUA), a criação de animais é feita sob pedido, com processos *Just In Time* (JIT) (LIKER, 2005) com o objetivo de buscar a precisão da cadeia de produção, encaixando as operações e as execuções de acordo com o nível de demanda. Além disso, programas de estabilidade genética, como o *Patented Genetic Stability Program* (Jackson Laboratories), manutenção de estoques básicos de embriões com

*pedigree* criopreservados a cada cinco gerações e uso de sistemas informatizados de manejo de colônias, permitem conjuntamente um melhor gerenciamento não apenas das colônias, como também dos custos de operação, por exemplo, com insumos, além de um maior controle de qualidade (KAGELE, 2022). Atualmente, as realidades entre os biotérios internacionais e os biotérios públicos nacionais são um tanto díspares, principalmente por questões de falta de investimento na pesquisa.

### **2.3. A gestão do biotério e seu impacto na aplicação dos 3Rs e na cadeia produtiva**

O manejo de animais de laboratório requer cuidado constante e metódico, aplicação de Procedimentos Operacionais Padrão (POP), atenção ao registro detalhado de dados zootécnicos e de procedimentos realizados e outras informações importantes que permitam rastrear dados sobre produção e experimentos e realizar um controle eficiente da manutenção adequada dos animais e dos custos. Um bom sistema de manutenção de registros é importante para a operação eficiente de um centro de pesquisa animal e incluem dados zootécnicos, gestão financeira e indicadores de conformidade (INGA *et al.*, 2019; IRMA, 2019).

Os registros zootécnicos contêm informações como a origem do animal, espécie, linhagem, idade, gênero e quaisquer outras características pertinentes, como a data de recebimento do animal, a data e a natureza da disposição final do animal, histórico de doenças, dentre outros. Os registros de animais também devem identificar os protocolos em que os mesmos são utilizados (SILVA *et al.*, 2018; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000). Ou seja, um bom manejo de animais utilizados em pesquisas deve ser voltado à aplicação do Refinamento e Redução presentes no Princípio dos 3RS.

Figura 2. Representação em infográfico do Princípio dos 3Rs



Fonte: Max Delbrück Center (MDC), 2022

Há uma crescente, desde o início do século XXI no uso de modelos computacionais e *software* para aplicação dos 3Rs. Tais sistemas vêm sendo utilizados para atuar no processo de validação de novas drogas ou moléculas ou para auxiliar a gestão de biotérios, principalmente (SILVA *et al.*, 2021).

Sistemas computacionais podem ajudar na aplicação do Princípio dos 3Rs ao permitir a redução de animais criados ou auxiliar no planejamento da logística da criação de animais utilizados em pesquisa, na busca da melhoria do bem-estar animal através da otimização dos procedimentos, contribuindo para o uso consciente e redução da destinação zootécnica dos animais (FERREIRA *et al.*, 2021). Porém, nem todo *software* para gestão de biotérios atual possui funcionalidades necessárias para aplicação dos princípios preconizados por Russel & Burch.

Levantamento realizado por Castro *et al.* (2021) e reproduzidas por Lima *et al.* (2022), listou 36 sistemas registrados para gestão de biotérios e animais de laboratório. Porém, somente 26 das 36 aplicações listadas na pesquisa possuíam material informativo sobre as funcionalidades e 22 possuíam funcionalidades que possibilitam a aplicação tanto do refinamento quanto da redução de animais produzidos ou utilizados em pesquisas, tais como: controle de parâmetros ambientais, controle das fichas, gravação de protocolos de estudo, controle do manejo reprodutivo, controle do manejo sanitário, controle genético, controle da

experimentação, integração com a Comissão de Ética em Uso de Animais (CEUA), gestão financeira, gestão de equipe, supervisão de equipamentos (Anexo 1). É importante destacar que o controle reprodutivo e integração de dados com a CEUA são consideradas funcionalidades promotoras da redução de animais por possibilitar o controle da quantidade de animais que serão produzidos e entregues aos usuários.

Não somente a qualidade dos animais de laboratório é importante para resultados confiáveis de testes e pesquisas, mas também é necessária uma preocupação com a manutenção dos custos com o manejo dos animais. O controle de ambos depende de informações de alta qualidade geradas por registros cuidadosamente mantidos. Tal controle permite a determinação dos custos, benefícios e da necessidade de produção, daí a importância do uso de softwares para gestão de biotérios nas instituições públicas pertencentes ao SUS (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000).

#### **2.4. Software auxiliando a gestão de biotérios**

Além de produzir vantagens para uma produção de animais de laboratório realizada dentro das boas práticas, o registro informatizado das atividades de um biotério proporciona a constituição de bases de dados fundamentais para apoiar os resultados de pesquisas, como a reprodutibilidade dos experimentos, rastreabilidade das informações e geração de novas pesquisas. A reprodutibilidade das pesquisas é um desafio científico importante a ser resolvido, pois coloca em questão a credibilidade dos resultados da pesquisa (LEEK; PENG, 2015), o que, em saúde, pode refletir no sucesso ou insucesso da adoção de uma nova abordagem terapêutica para determinada doença. Assim, a reprodutibilidade de um estudo pode também ser afetada pela ausência do compartilhamento de dados da produção de animais e de experimentos pré-clínicos e não compartilhamento de dados analisados ou código de programação (SIDI; HAREL, 2018).

Parte das atividades de um biotério, cujos processos de trabalho são sistematizados através de *software*, constam na lista de aplicações analisadas já citada (Anexo 1), demonstrando que o maior foco no desenvolvimento de todos os sistemas permeia as atividades padronizadas em um biotério, como o controle do ambiente, das fichas e do manejo reprodutivo (Figura 3). Demais áreas como a gestão financeira e de equipes, assim como o controle genético e de experimentação, são cobertos por poucas soluções tecnológicas. Funções relacionadas aos dados zootécnicos como, por exemplo, a origem, espécie, linhagem, gênero, peso, idade e demais informações referentes ao animal, estão presentes em 26 dos sistemas encontrados na



lista citada. A informatização dos processos, levantado de acordo com as necessidades específicas de infraestrutura do biotério, auxilia na gestão e controle das salas e estantes, mapas de acasalamento, transferência e rastreabilidade dos animais entre colônias e demais atividades comuns existentes. A etiquetagem das fichas e respectiva leitura por código de barras, QR Code ou controle por RFID proporcionam uma maior automação por parte do trabalho dos técnicos do biotério e reduzem a probabilidade de erros, a evitar o preenchimento manual das fichas.

O controle de qualidade sanitária incorpora funções capazes de integrar os dados zootécnicos com os dados dos testes de monitoramento sanitário realizados nos animais, incorporando à ficha dos mesmos, informações essenciais para aumentar a gestão do biotério no que diz respeito à qualidade dos animais fornecidos, assim como maior controle de doenças (ANDRADE et al., 2002). O controle genético, fundamental na definição do status genético de uma colônia de animais de laboratório e parte do controle da qualidade da colônia como um todo, constitui-se como campo de atividade que auxiliará o fornecimento de animais que apresentam a qualidade que as pesquisas necessitam para apresentarem resultados sem vieses, pois, ao se controlar os acasalamentos há um aumento da frequência de combinações gênicas favoráveis a um conjunto de características relacionadas a um dado sistema de produção (STROBEL et al., 2015).

Além das áreas primordiais para manejo das colônias, áreas periféricas ao controle e manejo de animais, como a gestão financeira, são mecanismos de controle pouco explorados em *software* de gestão de biotérios, mas que proporcionam alto valor agregado, seja do ponto de vista produtivo e financeiro. Na pesquisa de funcionalidades de sistemas informáticos de biotérios realizada por Castro *et al.* (2021), somente cinco produtos possuíam estas funcionalidades, apenas dois ~~com~~ funcionalidades para a gestão de equipes e em apenas um é possível realizar a supervisão de equipamentos.

Em meio à grande oferta de sistemas que possibilitam a gestão de biotérios, embora a maioria permita controle reprodutivo, possibilitando auditar a população de animais produzidos ou utilizados em pesquisas, o uso da inteligência artificial para predição da demanda e melhor controle na produção faz-se necessária e, porventura, ainda não existente em nenhum dos sistemas disponíveis no mercado, sendo uma necessidade que os tempos atuais requerem.

Figura 3. Sala de criação do ICTB/Fiocruz



Foto: Peter Illiciev (Fiocruz Imagens), 2004

## 2.5. Aprendizado de Máquina como ferramenta de apoio à gestão

O Aprendizado de Máquina é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos computacionais. É um ramo da inteligência artificial baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões, inferir resultados e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana (ALPAYDIN, 2010).

Os algoritmos realizam inúmeras iterações sobre os dados previamente fornecidos, etapa conhecida como treinamento, e produz como resultado um modelo computacional que auxiliará nas previsões de resultados futuros com a ingestão de novos dados (ALPAYDIN, 2010). Os modelos mais amplamente utilizados baseiam-se no aprendizado supervisionado, onde os algoritmos são treinados a partir de dados de entrada e saída previamente identificados (rotulados), os quais foram utilizados no sistema. Ou seja, na Aprendizagem Supervisionada, o programa é “treinado” sobre um conjunto de dados pré-definido e conhecido da organização. Além disso, os algoritmos de Aprendizagem Supervisionada subdividem-se em dois tipos: Classificação e Regressão (MOHRI et al., 2012). Classificação é o processo de identificar a qual grupo um dado pertence de acordo com suas características, com base em um conjunto de

dados previamente definido e identificado. Um exemplo seria determinar o diagnóstico de uma doença em um paciente, observando as características similares em outros grupos de pacientes. Já a Regressão busca, essencialmente, associar um valor que se quer descobrir a outros valores já conhecidos e definidos, a fim de identificar padrões entre os dados. (HASTIE *et al.*, 2009).

Em especial, o Aprendizado de Máquina é útil na antecipação de resultados futuros a partir da análise dos dados passados, auxiliando a análise prescritiva, que é o prévio conhecimento do que deve ser feito ou como agir a fim de atender ou evitar, antecipadamente, evento futuro (MURPHY, 2012). Portanto, *ML* é um subcampo da Inteligência Artificial, que permite dar aos computadores a habilidade de aprender sem que sejam explicitamente programados para esse fim. *ML* consiste em procedimentos que automatizam o desenvolvimento de modelos analíticos, utilizando algoritmos que aprendem iterativamente a partir de dados pré-concebidos, permitindo que os computadores encontrem padrões, associações e *insights* ocultos, os quais seriam imperceptíveis aos olhos humanos (RUSSEL; NORVIG, 2003).

O aprendizado supervisionado envolve o treinamento de um modelo computacional (função matemática) para operar em um conjunto de recursos e prever uma identificação (rótulo) usando um conjunto de dados que inclui alguns valores já conhecidos. O processo de treinamento ajusta os recursos aos rótulos conhecidos a fim de definir uma função geral que pode ser aplicada a novos dados de entrada para os quais os valores são desconhecidos e predizê-los. A função, na qual a variável “y” representa o rótulo ou valor que queremos prever e “X” representa os recursos que o modelo utiliza para predizê-lo. Ainda no século XVIII, Leonhard Euler (1707-1783) fez uso da notação abaixo, mas foi Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) quem criou o termo função, onde em 1675 escreveu um manuscrito utilizando a notação  $f(x)$  pela primeira vez:

$$y = f(x)$$

Fonte: manuscrito de Leibniz, 1675

Na maioria dos casos, X é um vetor que consiste em vários valores de recursos; portanto, a função pode ser expressa assim:

$$y = f([x_1, x_2, x_3, \dots])$$

Fonte: manuscrito de Leibniz, 1675

O objetivo de treinar um modelo computacional é encontrar uma função que realize algum tipo de cálculo para os valores de X que produzam o resultado de y. O algoritmo tenta ajustar os valores de X a um cálculo que produz y com precisão razoável para todos os casos no conjunto de dados de treinamento. Os inúmeros algoritmos de aprendizado supervisionado podem ser amplamente divididos em dois tipos:

**Algoritmos de regressão:** Algoritmos que preveem um valor numérico para a variável y, como o preço de uma casa, o número de transações de vendas ou, no caso do projeto, o número de animais a serem solicitados em data futura.

**Algoritmos de classificação:** Algoritmos que predizem a qual categoria, grupo ou classe, uma observação pertence. O valor de y em um modelo de classificação é, de fato, um vetor de valores de probabilidade entre 0 e 1, para cada classe, onde 1 significa proximidade a 100%, indicando a probabilidade de a observação pertencer a uma delas. A classificação do risco de óbito do animal nas categorias baixo, médio e alto, a fim de determinar a margem de segurança, é uma das incorporadas pelo sistema de gestão de biotérios.

Inicialmente, a identificação das necessidades e problemas a serem solucionados dentro da organização surgem como a primeira etapa antes da aplicação de qualquer ferramenta tecnológica. Durante essa etapa, a maior urgência identificada foi reduzir o elevado número de descarte animal. Diante da realidade atual, uma vez que a dinâmica na criação de animais não pode ser interrompida, foram propostos dois indicadores para solucionar esse problema: a previsão de animais a serem criados e a medição do margem de risco de acordo com determinados fatores.

De acordo com o exposto acima e aplicando em um software que objetive auxiliar na gestão de um biotério, considerando o número de animais a ser previsto para determinado período, por linhagem, o problema em causa configura-se como um problema de regressão. É preciso sempre cautela com a leitura do resultado do modelo, pois a possível correlação entre os dados não implica necessariamente causalidade entre os mesmos. Todo modelo necessita de interpretação após o resultado, a fim de que faça sentido e tenha alinhamento com a realidade (KLIEGR, 2021).

A primeira etapa deve ser a exploração dos dados previamente conhecidos e disponíveis. O objetivo desta exploração é tentar entender as relações entre seus atributos. Isso pode exigir algum trabalho para detectar e corrigir problemas nos dados (como lidar com valores nulos, erros ou valores atípicos), derivar novas colunas de recursos transformando ou combinando recursos existentes (um processo conhecido como engenharia de recursos), normalizar recursos numéricos para que estejam em uma escala semelhante e codificar recursos

categóricos (valores que representam categorias discretas) como indicadores numéricos, já que os computadores operam bem com números.

Após a identificação de uma necessidade a ser suprida, seja de modo informatizado ou não, para se chegar a uma solução final, de modo geral, inúmeras etapas precisam ser implementadas, conforme descritas abaixo:

- Definição do problema de negócio a ser resolvido
- Análise e pré-processamento dos dados já disponíveis
- Seleção dos recursos apropriados
- Seleção da família de algoritmos a ser utilizada
- Treinamento e teste dos algoritmos
- Avaliação de cada modelo gerado com ingestão de novos dados
- Repetição do processo até uma solução final (modelo ideal com menor taxa de erro)

Com o objetivo de solucionar a questão da previsão do número de animais solicitados para entrega e medição do margem de risco animal, algumas técnicas e algoritmos foram utilizados, desde os de regressão linear até outros que adotam árvores de decisão e conjuntos de árvores de decisão.

Inicialmente, a análise de regressão linear foi usada para prever o valor de uma variável com base no valor de outras e encontrar a linha de regressão ideal entre os dados. A Regressão Linear é um tipo de algoritmo supervisionado, onde os dados nele treinados devem estar “rotulados”, ou seja, identificados. O algoritmo de regressão linear pode ser utilizado em qualquer solução onde as variáveis de entrada e saída são valores contínuos.

Como alternativa ao modelo linear, existe uma categoria de algoritmos para aprendizado de máquina que usa uma abordagem baseada em árvore na qual os recursos do conjunto de dados são examinados em uma série de avaliações, cada uma das quais resulta em uma ramificação em uma árvore de decisão baseada sobre o valor do recurso. No final de cada série de ramificações estão os nós-folhas com o valor do rótulo previsto com base nos valores dos recursos (SHAI, 2014).

A família de algoritmos *Ensemble*, como citada acima, funciona a partir da combinação de vários estimadores a fim de produzir um modelo ideal, seja aplicando uma função agregada a uma coleção de modelos de base (às vezes chamado de *bagging*) ou construindo uma sequência de modelos que se complementam para melhorar o desempenho preditivo

(conhecido como reforço).

Por conseguinte, treinou-se um modelo *Random Forest* cuja função de média para vários modelos de Árvore de Decisão foi aplicada a fim de se obter um modelo geral melhor (HO, 2016).

Também foi utilizado um estimador *GradientBoostingRegressor* que incluiu um grande número de parâmetros que controlam a forma como o modelo é treinado. Apenas como observação, no aprendizado de máquina, o termo “parâmetros” refere-se a valores que podem ser determinados a partir de dados; os valores especificados para afetar o comportamento de um algoritmo de treinamento são mais corretamente chamados de hiperparâmetros.

Os hiperparâmetros específicos para um estimador variam com base no algoritmo que o estimador encapsula. No caso do estimador *GradientBoostingRegressor*, o algoritmo consiste numa combinação de várias árvores de decisão para criação de um modelo preditivo generalizado.

A abordagem de pesquisa de grade, como técnica de *Tuning* para tentar “sintonizar” melhor as combinações de uma grade de valores possíveis para os hiperparâmetros *learning\_rate* e *n\_estimators* do estimador *GradientBoostingRegressor* foi uma opção utilizada.

A normalização de recursos numéricos para que os mesmos estivessem na mesma escala evitou que recursos com valores grandes produzissem coeficientes que afetariam desproporcionalmente as previsões. Por exemplo, suponha que os dados incluíssem os seguintes recursos numéricos:

A	B	C
3	480	65

A normalização desses recursos para a mesma escala pode resultar nos seguintes valores (assumindo que A contém valores de 0 a 10, B contém valores de 0 a 1000 e C contém valores de 0 a 100):

A	B	C
0,3	0,48	0,65

Existem várias maneiras de dimensionar dados numéricos, como calcular os valores mínimo e máximo para cada coluna e atribuir um valor proporcional entre 0 e 1 ou usar a média

e o desvio padrão de uma variável normalmente distribuída para manter a mesma distribuição de valores em uma escala diferente.

Todo o pipeline pode ser ajustado aos dados, para que o modelo encapsule todas as etapas de pré-processamento, bem como o algoritmo de regressão. Isso é útil porque quando um modelo é usado para prever valores referentes a novos dados, é preciso aplicar as mesmas transformações (com base nas mesmas distribuições estatísticas e codificações de categoria usadas com os dados de treinamento).

O pipeline é composto pelas transformações e pelo algoritmo usado para treinar o modelo. Para tentar um algoritmo alternativo, alterou-se essa etapa para um tipo diferente de estimador.

Após a geração dos modelos, tanto para o problema de regressão (previsão do número de animais) quanto para o de classificação (medição do margem de risco), foi necessária a medição do quanto esses modelos se comportaram com relação à ingestão de novos dados, além da análise dos respectivos índices, objetivando reduzir o erro do modelo.

Para o problema de regressão, utilizou-se o Erro Quadrático Médio (MSE), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o Coeficiente de determinação R-Quadrado. Com relação aos dois primeiros, quanto menor o valor, melhor. Com relação ao último, quanto maior o valor, melhor o ajuste do modelo a novos dados de entrada.

Para o problema de classificação, utilizou-se a acurácia do modelo, mas não somente. A acurácia é uma métrica, de fato, sensata para avaliar, mas é preciso cuidado ao tirar conclusões da acurácia de um classificador. A acurácia simplesmente consiste numa medida de quantos casos foram previstos corretamente. Suponha que apenas 3% da população seja diabética. Um classificador que sempre previsse apenas 0 (não diabético), estaria 97% das vezes correto - mas não seria muito útil na identificação de pacientes com diabetes.

Portanto, existem algumas outras métricas que revelam um pouco mais sobre o desempenho de um modelo. O relatório de classificação incluiu as seguintes métricas para cada classe, dispostas na Figura 4:

Figura 4. Métricas de classificação

$$\begin{aligned}
 \textit{precision} &= \frac{TP}{TP + FP} \\
 \textit{recall} &= \frac{TP}{TP + FN} \\
 F1 &= \frac{2 \times \textit{precision} \times \textit{recall}}{\textit{precision} + \textit{recall}} \\
 \textit{accuracy} &= \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP}
 \end{aligned}$$

Fonte: POWERS, 2011

- *Precision*: indica a proporção correta de previsões que o modelo fez para uma classe.
- *Recall*: indica a quantidade de instâncias de uma classe, no conjunto de dados de teste, que o modelo identificou.
- *F1-Score*: indica uma métrica média que leva em consideração tanto a *Precision* quanto o *Recall*.

O relatório de classificação também inclui médias para essas métricas, incluindo uma média ponderada que permite o desequilíbrio no número de casos de cada classe.

As métricas de *Precision* e *Recall* são derivadas de quatro possíveis resultados de previsão:

- Verdadeiros Positivos (*True Positive* – TP): O rótulo previsto e o rótulo real são ambos 1.
- Falsos positivos (*False Positive* – FP): o rótulo previsto é 1, mas o rótulo real é 0.
- Falsos negativos (*False Negative* – FN): o rótulo previsto é 0, mas o rótulo real é 1.
- Verdadeiros negativos (*True Negative* – TN): o rótulo previsto e o rótulo real são ambos 0.

Essas métricas geralmente são tabuladas para o conjunto de teste e mostradas juntas como uma matriz de confusão, que assume a seguinte forma (Figura 5):



Figura 5. Matriz de confusão

TN	FP
FN	TP

Fonte: POWERS D., 2011

As previsões corretas (verdadeiras) formam uma linha diagonal do canto superior esquerdo ao canto inferior direito - esses números devem ser significativamente maiores do que as previsões falsas se o modelo for bom.

As soluções para os problemas acima descritos tiveram como fundamento maior a redução do descarte animal, com implicância direta ao princípio dos 3Rs. Na prática, a redução do descarte é o resultado de um melhor controle na criação. Além disso, a otimização do processo de criação implica em menores custos com insumos, melhor qualidade do animal para pesquisas, menor desgaste psicológico da equipe com procedimentos de descarte, redução do custo com o descarte em si, redução da pressão nas salas de criação com animais em excesso, e conseqüente eliminação de esforço desnecessário de técnicos com manejos e demais procedimentos. Direta ou indiretamente, o melhor controle na criação melhora os demais indicadores do biotério, seja externamente perante os laboratórios de experimentação, com animais fornecidos com melhor precisão diante das características solicitadas para pesquisa, seja internamente perante a equipe.

### 3. JUSTIFICATIVA

Embora o ICTB/Fiocruz possua um sistema para gerenciamento dos pedidos e entregas de animais, denominado SICOPA, esse não contempla as necessidades totais de gerenciamento de um biotério de criação, pois não realiza a gestão zootécnica da criação, de seus insumos e possui funcionalidades restritas para a comunicação com os usuários/clientes que demandam os animais criados.

Mesmo com uma farta oferta de softwares para gestão de biotérios no mercado, estes trazem como desvantagens a cobrança de assinatura anual para manutenção do sistema, o que inviabiliza a livre concorrência nos processos licitatórios, e a inconveniência de tornar reféns os usuários clientes, no caso as instituições que os contratam, na manutenção dos bancos de dados inseridos no software, pois estes ficam armazenados em nuvens pertencentes a essas

empresas, que dão acesso aos dados apenas se houver manutenção de pagamento da taxa de anuidade. Além disso, os códigos-fonte dos software também não são liberados por essas empresas aos clientes, impossibilitando a customização de funcionalidades e integração com outros sistemas, como por exemplo, sistemas de gerenciamento dos Comitês de ética no uso de animais da Fiocruz (CEUAs).

Além disso, os demais softwares não possuem a aplicação de inteligência artificial a partir do banco de dados, a qual se apresenta como uma funcionalidade inovadora para biotérios ao auxiliá-los na previsão antecipada da demanda de produção de animais para atendimento às pesquisas.

Desta forma, foi desenvolvido um software de gerenciamento da produção e fornecimento de animais aos pesquisadores, com aplicação de inteligência artificial, código-fonte aberto e de uso livre, tanto para o ICTB quanto para os demais biotérios da Fiocruz, que proporciona a sistematização dos processos de criação, organização dos dados zootécnicos, digitalização de fichas e demais documentações de gerenciamento que geram relatórios em tempo real das colônias auxiliando assim os gestores em tomadas de decisão, proporcionando a redução de erros de transcrição advindo de planilhas e papéis, e aprimorando a comunicação entre o biotério fornecedor e os biotérios clientes.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo Geral**

Desenvolver um *software* para gerenciamento da produção, demanda e fornecimento de animais produzidos no ICTB às demais unidades que possuem biotérios experimentais na Fiocruz, para informatizar os registros zootécnicos, sistematizar os fluxos de trabalho dentro das salas de criação, adequar a comunicação interna e externa com os usuários com notificações para o cumprimento de prazos e justificativas de aceitação ou negação de pedidos de animais, controlar o saldo dos pedidos, auxiliar o cálculo de produção animal a fim de reduzir custos com manutenção futura e desnecessária, e reduzir o descarte animal com previsão da demanda e medição de riscos.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Substituir o trânsito e o uso de papéis na área de criação, digitalizando as informações zootécnicas das colônias do SCRL/ICTB, reduzindo o tempo gasto

para transcrição das informações e, conseqüentemente, erros de traslado de dados entre fichas de identificação manuais e o sistema;

- Programar as funcionalidades de informações zootécnicas sobre as colônias de camundongos de forma a otimizar a gestão das colônias e o fornecimento de animais;
- Aumentar a eficiência no cumprimento dos prazos de entrega pactuados com os usuários ao mapear os fluxos de comunicação e logística entre os atores do processo e programar as funcionalidades de comunicação com os usuários;
- Reduzir custos com insumos e manutenção de animais produzidos no SCRL/ICTB ao programar a funcionalidade de cálculo de produção de animais;
- Aumentar a acurácia da previsão do número de animais a serem produzidos e medir o nível de risco para o descarte animal por meio da aplicação de *Machine Learning*;
- Disponibilizar o registro de ocorrências digitalizado e em tempo real ao gestor para agilização da resolução de intercorrências nas áreas de criação;
- Disponibilizar o acesso direto aos Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) do Setor durante a utilização do software eliminando o trânsito de papéis nas áreas de criação.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Público-alvo**

O software foi desenvolvido para atender ao seguinte público-alvo: Serviço de Criação de Roedores e Lagomorfos (SCRL) do ICTB; o Serviço de Biotecnologia e Desenvolvimento Animal (SBDA) do ICTB; os pesquisadores e Responsáveis Técnicos das Unidades da Fiocruz usuárias de animais utilizados em pesquisa e produzidos no ICTB (Instituto Oswaldo Cruz, Farmanguinhos, Biomanguinhos, Escola Nacional de Saúde Pública, Instituto René Rachou, Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde e biotérios das unidades de Rondônia,

Manaus (Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães), Mato Grosso do Sul, e Bahia (Centro de Pesquisas Gonçalo Moniz).

## **5.2. Escolha do nome do sistema**

O nome do software foi escolhido por meio de enquete com a participação dos colaboradores do SCRL/ICTB e dos demais biotérios experimentais usuários da ferramenta. Foram apresentadas 3 opções de nomes sendo escolhido o nome RodentIA após obter a maior parte dos votos.

Rodentia é o nome científico da Ordem dos mamíferos roedores e o sufixo IA com letras maiúsculas no final da palavra remete à abreviação de inteligência artificial, o qual utilizada no software, daí o nome do software RodentIA.

A ideia da escolha coletiva do nome do software foi promover o engajamento da solução com a participação de todos os envolvidos, direta ou indiretamente, desde a sua concepção, com o objetivo de transmitir a mensagem de ser uma ferramenta realmente aberta e colaborativa.

## **5.3. Construção das funcionalidades**

Foram realizadas reuniões individuais e em grupo com os responsáveis técnicos de biotérios experimentais da Fiocruz, chefes e equipes dos biotérios do SCRL/ICTB com o objetivo de levantar os requisitos do sistema. Foram identificadas necessidades referentes à melhoria da comunicação, integração e compartilhamento de informações entre os atores envolvidos no processo de fornecimento de animais, desde o registro dos dados zootécnicos e de consumo de insumos até os aspectos relacionados à relação entre o SCRL e biotérios usuários, além da informatização do fluxo de trabalho dentro da área operacional.

A partir desse levantamento, a fim de mapear as funcionalidades que atenderiam à dinâmica das necessidades do biotério, foi realizada a construção lógica da aplicação, apoiada por um processo de desenvolvimento iterativo e incremental. Entrevistas em grupo e individuais, apoiadas por técnicas de *UX Design* (Experiência do Usuário), foram aplicadas a fim de aprimorar a usabilidade da solução, tornando-a mais intuitiva, do ponto de vista do usuário final.

Foram realizadas entrevistas entre os três principais grupos que compõe a amostra de usuários: administrativos, técnicos e clientes. A pesquisa consistiu no levantamento das

principais aplicações utilizadas pelos usuários, qualidade dos equipamentos no trabalho, qualidade da Internet no ambiente de trabalho, domínio sobre dispositivos como *smartphones*, *tablets* ou *desktops*, equipamentos de segurança (EPI) que possam dificultar a utilização de dispositivos e mapeamento dos perfis.

#### 5.4. Arquitetura do software

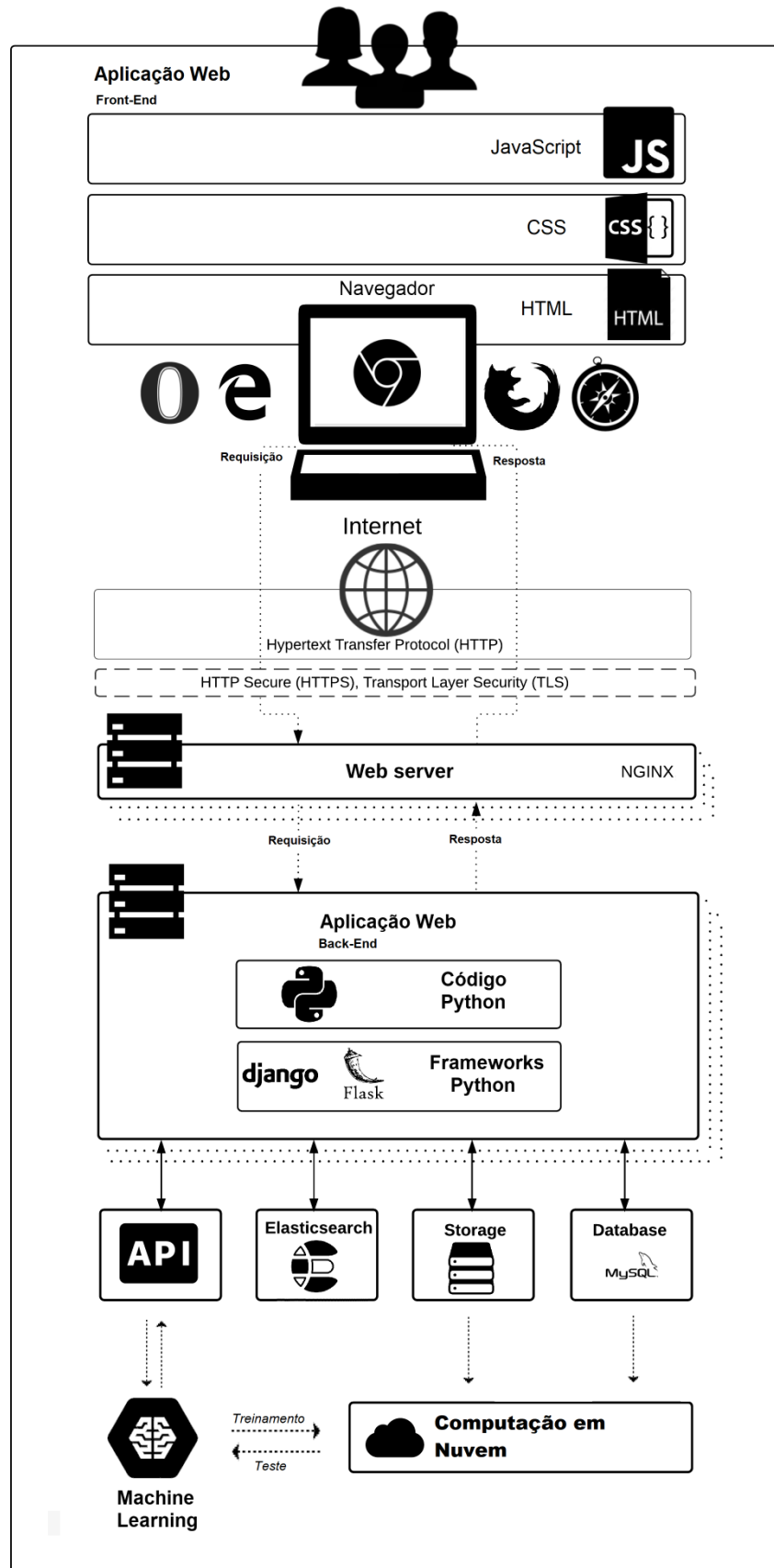
O software foi encaminhado para registro no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) com uso livre para a Fiocruz e código-fonte aberto com paradigma de programação orientada a objetos, utilizando linguagem de programação Python e respectivo *framework* Django, assim como banco de dados relacional MySQL para persistência dos dados, constituindo o *back-end* principal da solução. Como *front-end*, o sistema adota a linguagem de marcação HTML (*HyperText Markup Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*) com adoção do *framework Bootstrap* para estilizar as páginas com uso de responsividade e *tecnologia Javascript* (biblioteca JQuery).

As consultas à base de dados são efetuadas diretamente via SQL (*Structured Query Language*). O projeto adotou técnicas de *Business Intelligence* a fim de auxiliar gestores na tomada de decisões, com uso do PowerBI como ferramenta de apoio. O BI funciona como análise descritiva e diagnóstica a fim de verificar o que aconteceu e o porquê de ter ocorrido, respectivamente. As consultas podem ser apresentadas em relatórios on-line e gráficos dinâmicos em *painéis (dashboards)* a fim de facilitar a compreensão e leitura das informações pelos gestores. Já os algoritmos de ML utilizados na aplicação, nas categorias de Regressão e Classificação, tem como premissa a análise preditiva e prescritiva com relação a evento que acontecerá em data futura e qual medida poderá ser tomada antecipadamente a fim de realizar ou evitar tal acontecimento.

O estudo de UX Design realizado alinhou o desenvolvimento das funcionalidades com o fluxo de trabalho do biotério, com o objetivo de não haver sobreposição de papéis ou responsabilidades durante o uso do sistema.

A figura 6 abaixo ilustra a arquitetura geral do sistema, desde as tecnologias utilizadas nas telas da aplicação (*front-end*) até as de mais baixo nível (*back-end*).

Figura 6. Arquitetura geral do RodentIA



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023

### 5.5. Algoritmos de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) utilizados

Para resolução do problema, o conjunto de dados históricos (*dataset*) foi treinado e testado por algumas famílias de algoritmos a fim de se verificar se os dados possuíam correlações entre si, o que resultou na escolha do modelo com melhor precisão nos resultados. A partir desse ponto, o modelo computacional gerado foi validado para que, posteriormente, fosse implementado na aplicação.

Com a aplicação do modelo, foram geradas previsões de animais a serem produzidos, a partir do histórico de solicitações anteriores, o que orientará no planejamento do cálculo de produção de animais a serem entregues. Com isso, o controle de indicadores far-se-á mais preciso com:

a) Índice de descarte zootécnico. Cálculo: animais descartados zootecnicamente/animais produzidos (Figura 7).

Figura 7. Cálculo de produção animal

$$\frac{\text{Nas} + \text{MS}}{\text{F}\%s}$$


---


$$\frac{(\text{NP} + \text{TC}) \times \text{Fd}}{365}$$

Nas= número de animais solicitados  
 MS= margem de segurança  
 F%s= % de frequência do sexo na ninhada  
 NP= número de partos/fêmea (média da colônia)  
 TC= tamanho da ninhada/fêmeas (média da colônia)  
 Fd= frequência, em dias, da necessidade dos animais

Fonte: Silva, 2021

b) Índice de atrasos. Cálculo: pedidos entregues com atraso/total de pedidos entregues

c) Comparação de resultados do ano atual com os anos anteriores e posteriores. Cálculo: custo com insumos e manutenção de animais em diferentes períodos de tempo.

d) Índice de acurácia de previsão da demanda. Cálculo: animais fornecidos / animais previstos

Do mesmo modo, a segunda necessidade identificada foi a medição do margem de risco (margem de segurança), por linhagem, no qual o animal enquadrar-se-á em uma das categorias pré-definidas (margem de risco alto, médio ou baixo), com base em fatores inerentes ao animal como peso e idade, mas também fatores ambientais como iluminação, temperatura, ruído, percentual de amônia, dentre outros. Nesse caso se aplicou não somente a acurácia para medir o desempenho do modelo, mas os fatores já mencionados (precision, recall, F1 score).

Com relação à previsão de animais orientada pela aprendizagem de algoritmos, esta foi implementada de forma a realizar a predição por linhagem, para um determinado período. O código, disponível em [GITHUB], ilustra algumas famílias de algoritmos de regressão utilizadas no desenvolvimento a fim de se alcançar o resultado esperado (Figura 8).

Figura 8. Leitura inicial dos dados

	id	data	linhagem	ano	mes	ferias	diaSemana	pedidos
0	1	1/1/2021	1	0	1	0	6	331
1	2	1/2/2021	1	0	1	0	0	131
2	3	1/3/2021	1	0	1	0	1	120
3	4	1/4/2021	1	0	1	0	2	108
4	5	1/5/2021	1	0	1	0	3	82

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Os dados consistem nas seguintes colunas provenientes do RodentIA:

- **id:** Identificador único
- **data:** A data na qual os animais foram solicitados
- **linhagem:** Número codificado representando a linhagem (1:swiss, 2:black, 3:balb, 4:wistar)
- **ano:** Ano da solicitação (estudo envolveu 2 anos - ano 0 representa 2021, e ano 1 representa 2022)
- **mes:** Mês da solicitação (1:Janeiro ... 12:Dezembro)
- **ferias:** valor binário indicando se a instituição está em período de férias ou não
- **dia:** Dia da semana da solicitação (0:Domingo... 6:Sabado)
- **pedidos:** Quantidade de animais solicitados



Nesse conjunto de dados, a coluna “pedidos” de animais representa o rótulo (valor y) que nosso modelo deve ser treinado para prever. As outras colunas são recursos potenciais e independentes (valores X).

Executou-se engenharia de recursos para combinar ou derivar novos recursos. Por exemplo, uma nova coluna chamada “diaMes” foi adicionada à tabela de dados (figura 9), extraindo o componente dia da coluna ‘data’ existente. A nova coluna representa o dia do mês de 1 a 31.

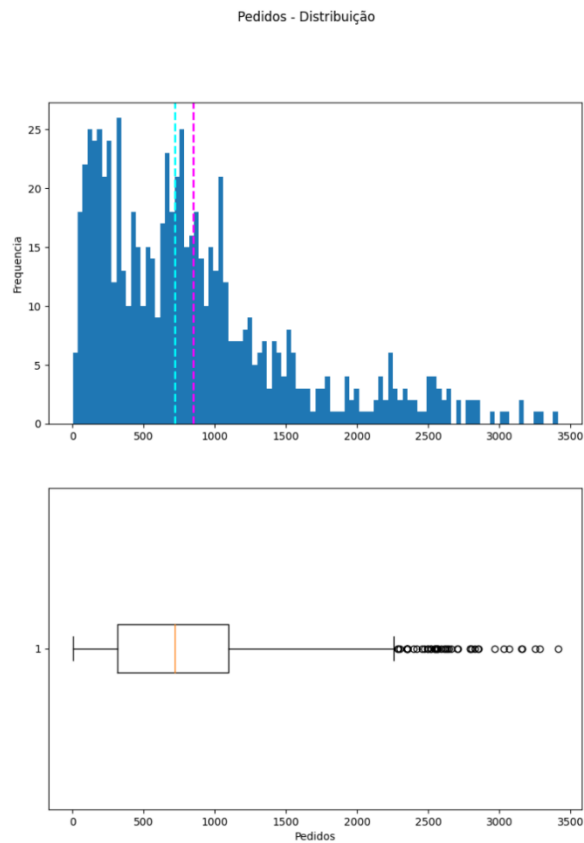
Figura 9. Criação da coluna “dia do mês”

	id	data	linhagem	ano	mes	ferias	diaSemana	pedidos	diaMes
0	1	1/1/2021	1	0	1	0	6	331	1
1	2	1/2/2021	1	0	1	0	0	131	2
2	3	1/3/2021	1	0	1	0	1	120	3
3	4	1/4/2021	1	0	1	0	2	108	4
4	5	1/5/2021	1	0	1	0	3	82	5

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

O gráfico demonstra a fase de exploração de dados e a sua forma de dispersão. Valores de variação de dados são mostrados no modo *boxplot* como pequenos círculos, indicando que são discrepantes - em outras palavras, valores incomumente altos ou baixos além do intervalo típico da maioria dos dados (Figura 10).

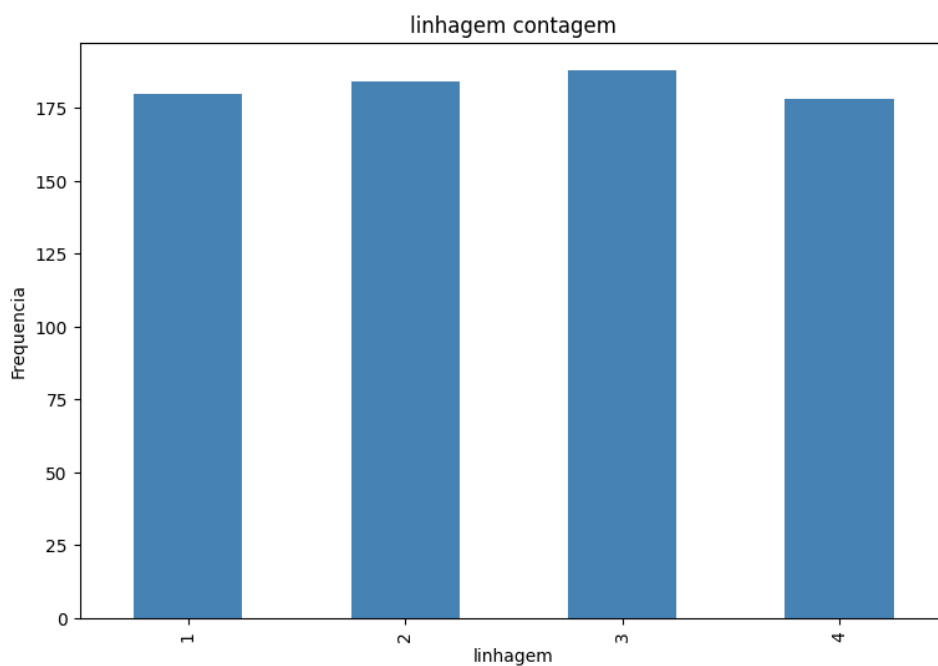
Figura 10. Exemplo da visualização do gráfico pedidos x distribuição dos dados



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

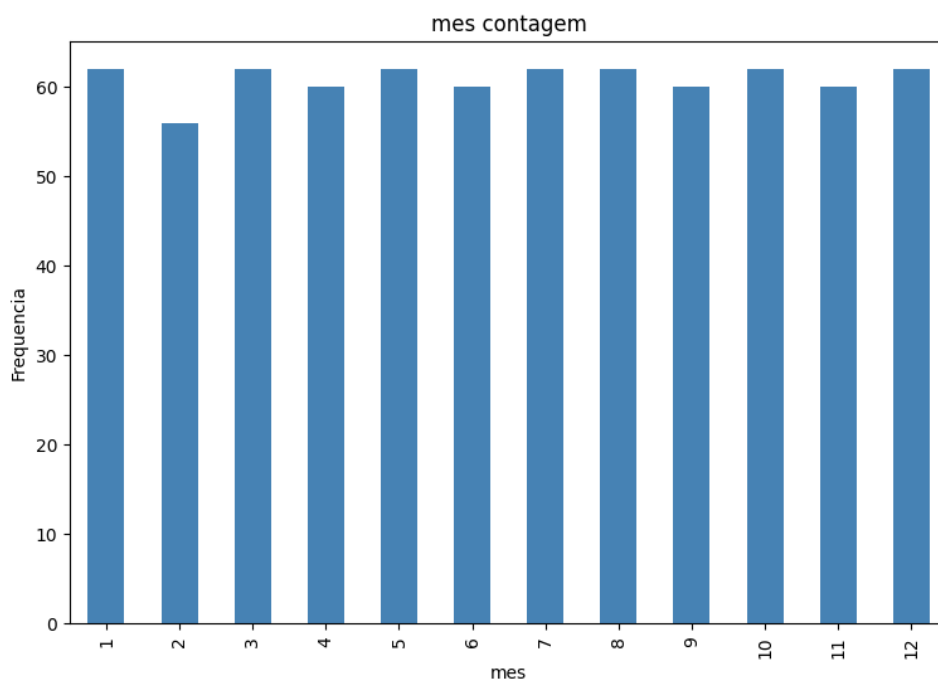
Abaixo, nas Figuras 11, 12, 13, 14 e 15, os gráficos de barras demonstram a contagem de cada valor discreto para cada categoria:

Figura 11. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por linhagem antes do treinamento de algoritmos



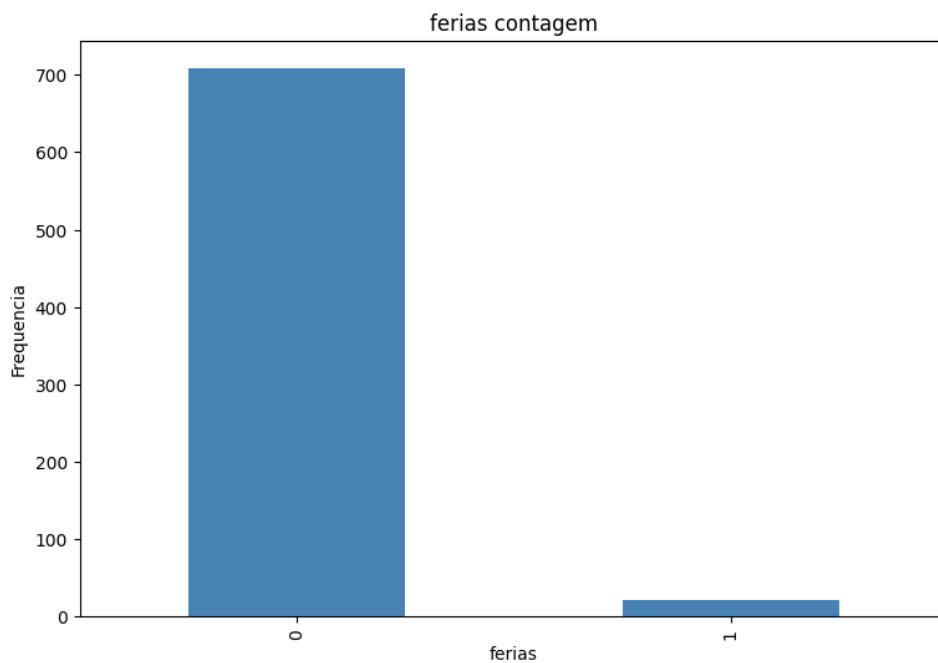
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 12. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por mês antes do treinamento de algoritmos



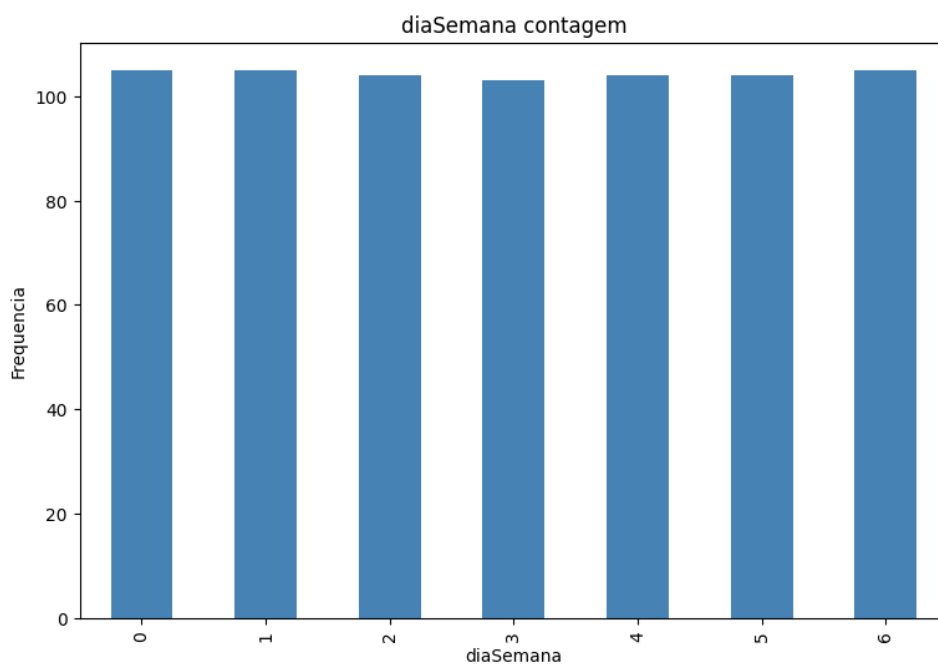
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 13. Visualização da distribuição dos dados de frequência dos pedidos nos períodos de férias antes do treinamento de algoritmos



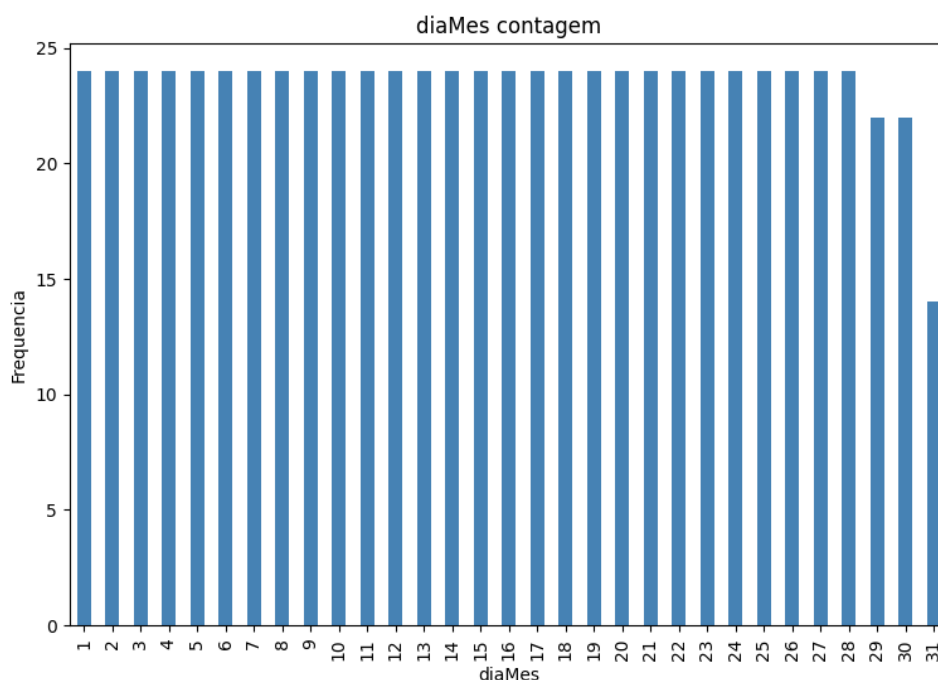
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 14. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por dia da semana



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 15. Visualização da distribuição dos dados de frequência de pedidos por dia do mês



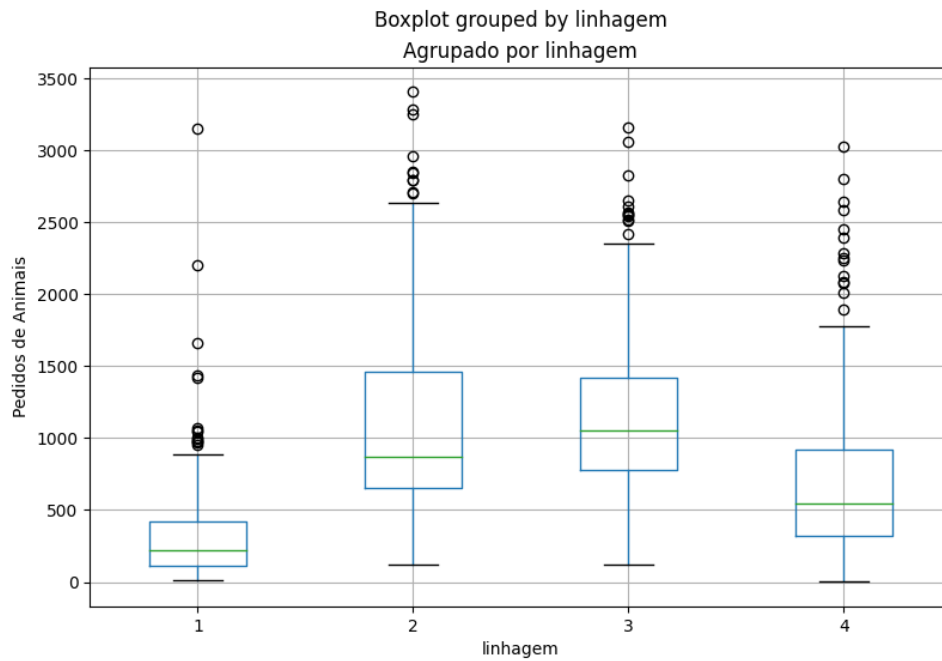
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Muitos dos recursos categóricos mostram uma distribuição mais ou menos uniforme (o que significa que há aproximadamente o mesmo número de linhas para cada categoria). Exceções a isso incluem, por exemplo, período de férias, pois há muito menos dias que são férias/feriados do que dias que não são.

Após a definição da distribuição dos dados nas colunas, se inicia a procura por relacionamentos entre os recursos e o rótulo de pedidos que é possível prever.

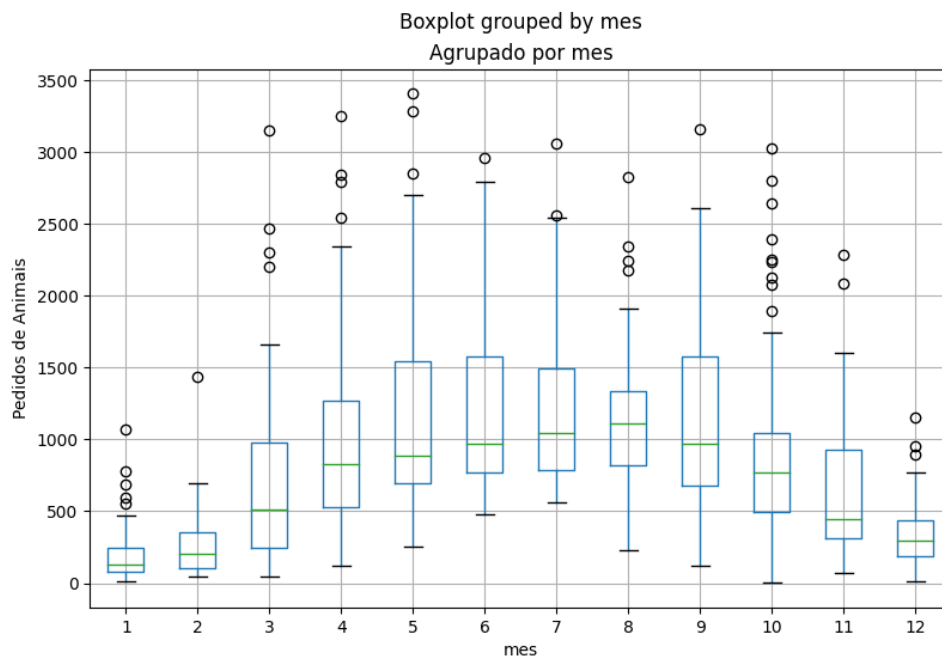
Para os recursos numéricos, é possível criar gráficos de dispersão que mostram a interseção dos valores do recurso e do rótulo e, dessa forma, calcular a estatística de correlação para quantificar a relação aparente (Figuras 16 a 20).

Figura 16. Visualização da distribuição dos dados agrupados por linhagem



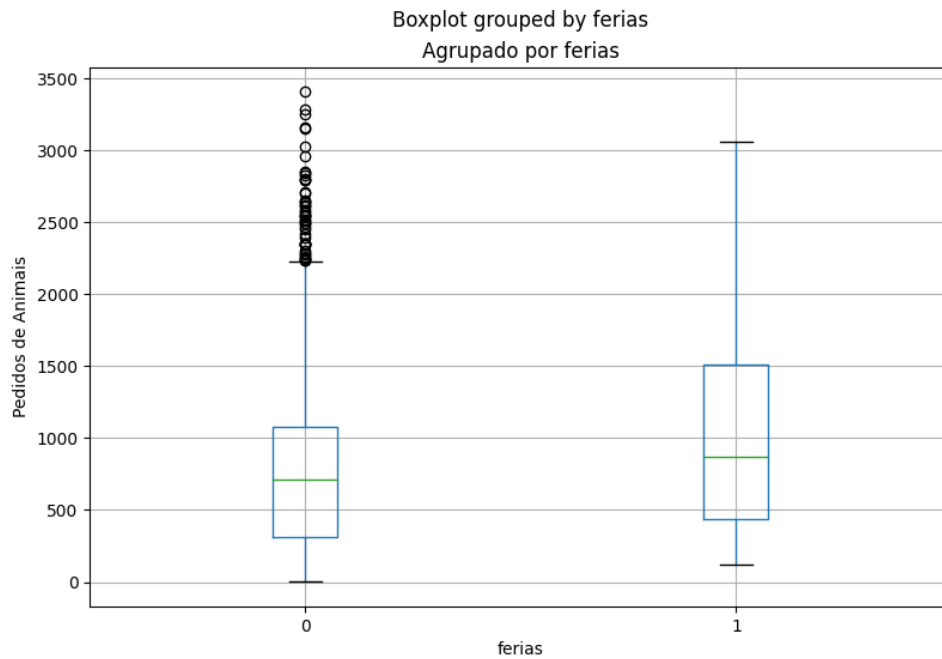
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 17. Visualização da distribuição dos dados agrupados por mês



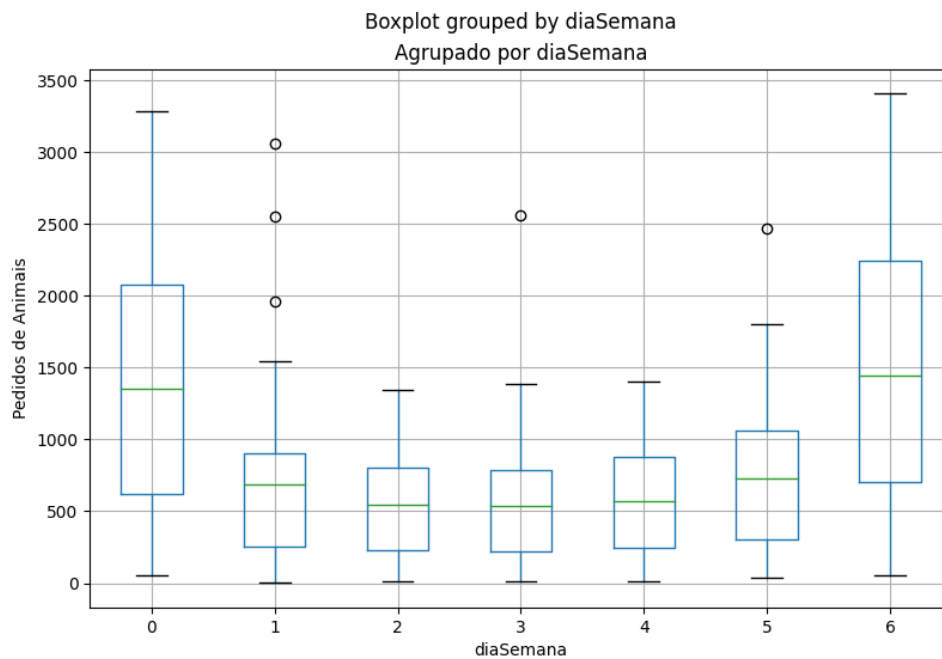
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 18. Visualização da distribuição dos dados agrupados por período de férias



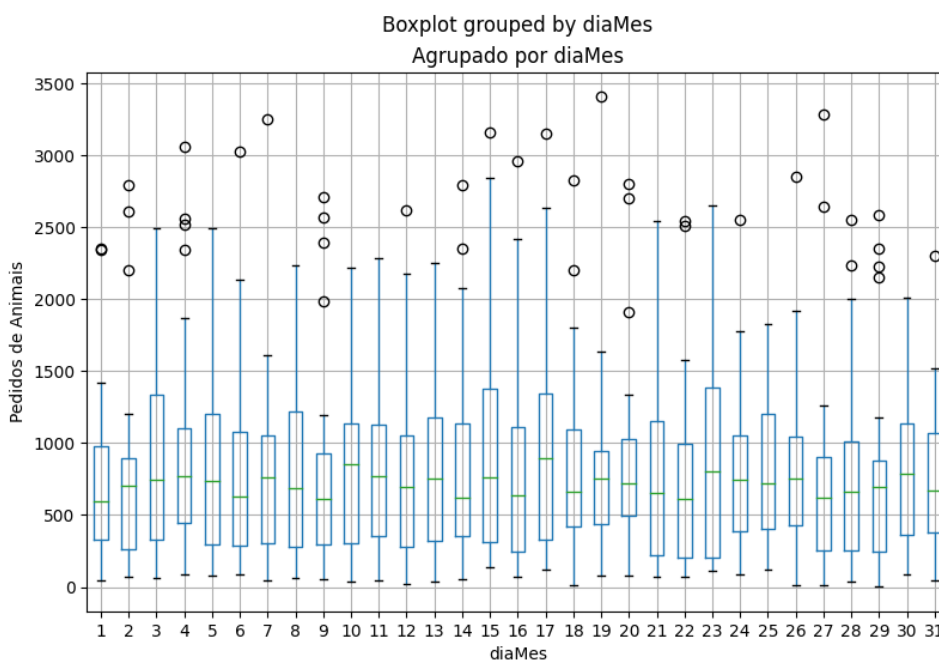
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 19. Visualização da distribuição dos dados agrupados por dia da semana



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 20. Visualização da distribuição dos dados agrupados por dia do mês



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

### 5.5.1. Treinamento do Modelo

Após a exploração dos dados, estes foram utilizados para treinar um modelo de regressão que utilizou os recursos identificados como potencialmente preditivos para prever o rótulo dos pedidos. O primeiro passo foi separar os recursos para utilizar no treinamento do modelo. Depois de separar o conjunto de dados, foram criadas as matrizes de  $X$  contendo os recursos e  $Y$  contendo os rótulos.

Os dados foram divididos em dois subconjuntos: um conjunto (normalmente maior), com o qual foi treinado o modelo, e um conjunto menor, com o qual validou-se o modelo treinado, permitindo avaliar o desempenho do modelo quando usado com o conjunto de dados de validação, comparando os rótulos previstos com os rótulos conhecidos.

Os dados foram divididos aleatoriamente (70% dos dados para treinamento e 30% para teste). Isso ajudou a garantir que os dois subconjuntos de dados fossem estatisticamente comparáveis. Portanto, o modelo foi validado com dados que tinham uma distribuição estatística semelhante aos dados com os quais foi treinado).

### 5.5.2. Avaliação do modelo

Após treinado, o modelo foi criado a fim de prever a quantidade de pedidos para os



recursos retidos em nosso conjunto de dados de validação. Em seguida, foram aplicadas comparações das previsões com os valores reais do rótulo para avaliar o quão bem (ou não) o modelo funcionou.

Durante a validação do modelo foram comparados valores reais e previstos para confrontar a acurácia de acerto na predição, conforme representação abaixo (Figura 21).

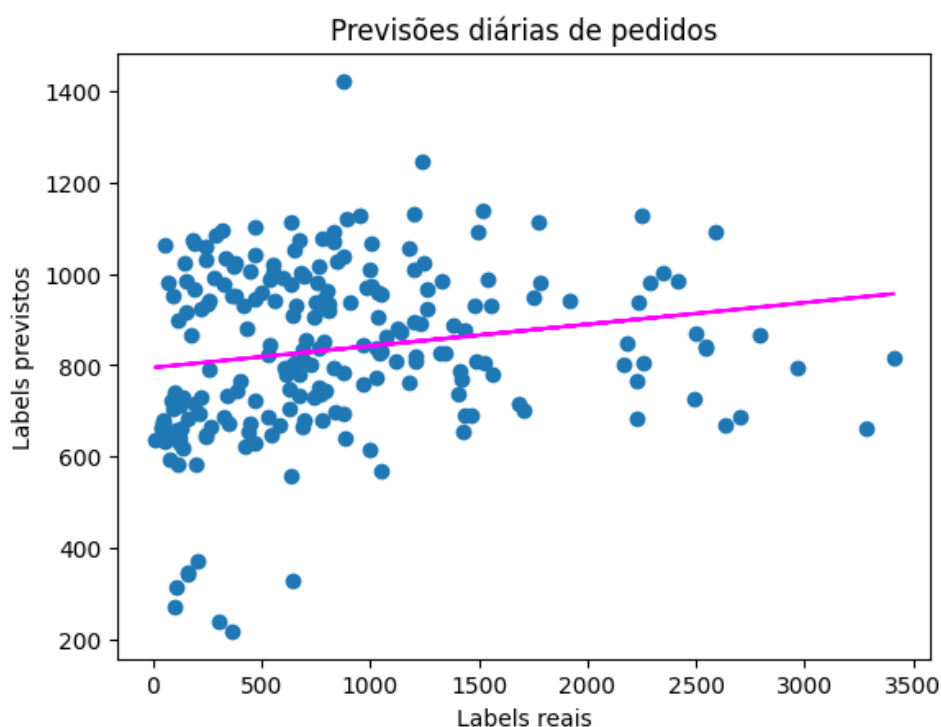
Figura 21. Comparação entre labels reais e previstos

```
Labels previstos: [ 986.  980.  731.  674.  647. 1023. 1031. 1020.  765.  660.]
Labels reais   : [2418  754  222  47  244  145  240  551 2230  38]
```

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

A melhor visualização desta validação acima realizada foi o gráfico de dispersão abaixo representado (Figura 22) onde se observa uma linha de tendência para obter uma noção geral de como os rótulos previstos se alinham com os rótulos verdadeiros.

Figura 22. Linha de regressão gerada para observação de rótulos previstos e rótulos reais



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Para eliminar resíduos de cálculos que gerem números negativos que prejudicam no resultado da predição foram aplicadas métricas de avaliação mais comumente utilizadas,

conforme abaixo descrito e representado na Figura 23:

- Erro Quadrático Médio (MSE): A média das diferenças quadradas entre os valores previstos e reais. Isso produz uma métrica relativa em que quanto menor o valor, melhor o ajuste do modelo
- *Root Mean Square Error* (RMSE): A raiz quadrada do MSE. Isso gera uma métrica absoluta na mesma unidade do rótulo (neste caso, número de pedidos). Quanto menor o valor, melhor o modelo (em um sentido simplista, representa o número médio de pedidos de animais pelos quais as previsões estão erradas)
- Coeficiente de determinação (geralmente conhecido como R-quadrado ou R<sup>2</sup>): Uma métrica relativa na qual quanto maior o valor, melhor o ajuste do modelo. Em essência, essa métrica representa quanto da variação entre os valores de rótulos previstos e reais o modelo é capaz de explicar.

Figura 23. Métricas de avaliação do modelo

```
MSE: 485135.80493550026  
RMSE: 696.516909296178  
R2: 0.02394176114170321
```

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

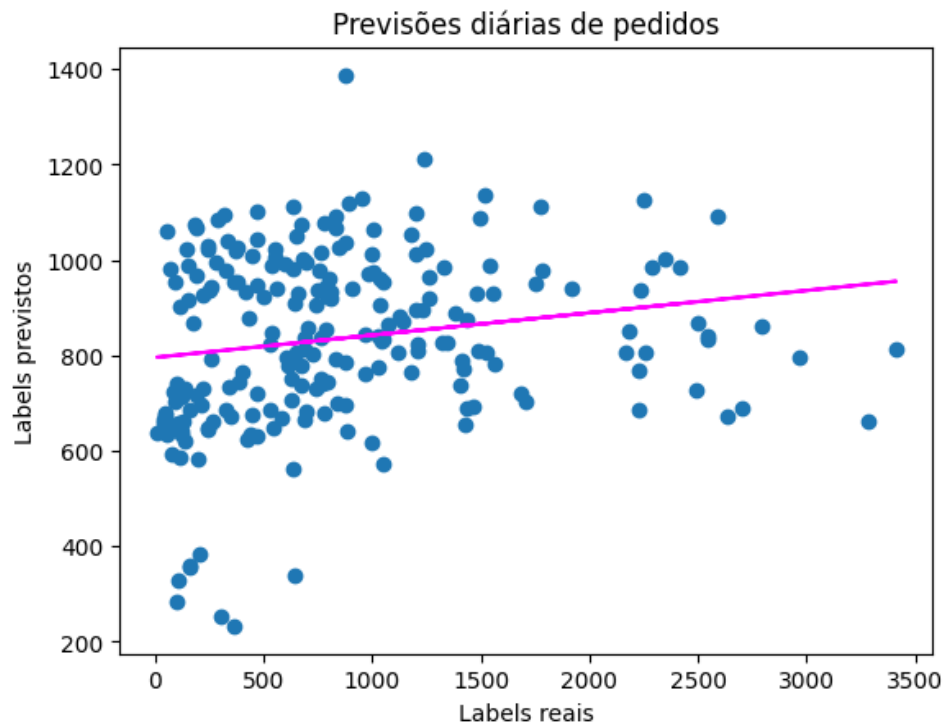
No momento, a capacidade do modelo foi quantificada com o objetivo de prever o número de pedidos de animais. Provavelmente possuía alguma capacidade preditiva, mas outros algoritmos foram testados, como:

- Algoritmos lineares: Não apenas o algoritmo de regressão linear utilizado acima (tecnicamente um algoritmo de mínimos quadrados ordinários), mas outras variantes, como Lasso e Ridge.
- Algoritmos baseados em árvore: Algoritmos que constroem uma árvore de decisão para chegar a uma previsão.
- Algoritmos *Ensemble*: Algoritmos que combinam as saídas de vários outros algoritmos objetivando melhorar a generalização.

Abaixo, treinamento do modelo de regressão que foi utilizado com algoritmo Lasso (Figura 24).

Figura 24. Resultado do treinamento com variante Lasso

MSE: 484568.33942420984  
RMSE: 696.1094306387537  
R2: 0.025083460809977698



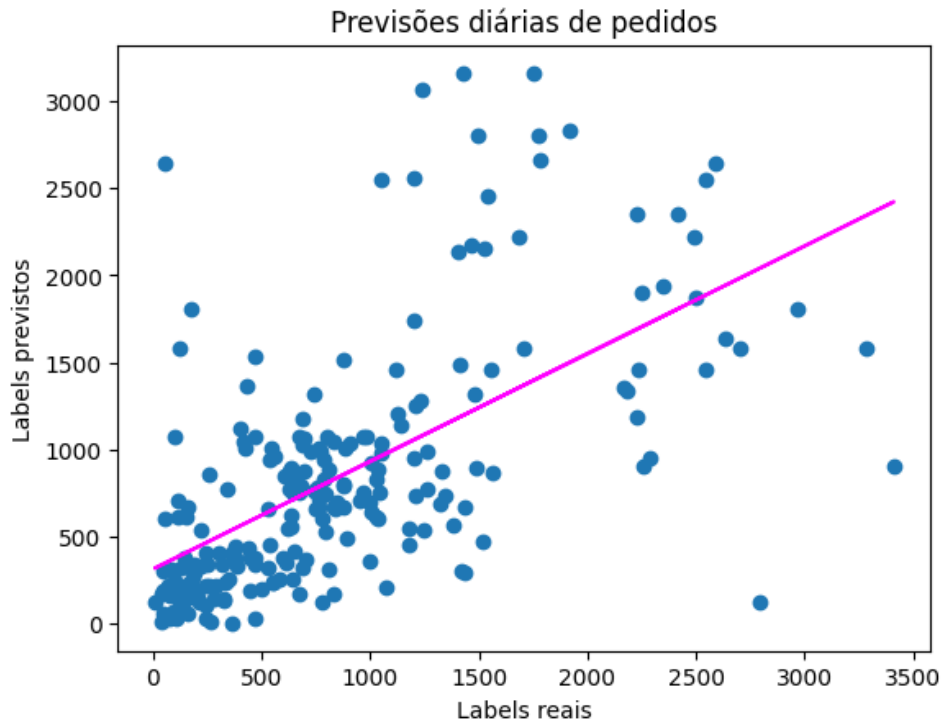
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

### 5.5.3. Algoritmo de Árvore de Decisão

Um modelo de regressão de Árvore de Decisão foi igualmente treinado usando os dados de pedidos anteriores, tendo como métricas os valores representados na Figura 25.

Figura 25. Métricas obtidas com aplicação de Árvores de Decisão

MSE: 382781.3287671233  
RMSE: 618.6932428652533  
R2: 0.2298715827129062



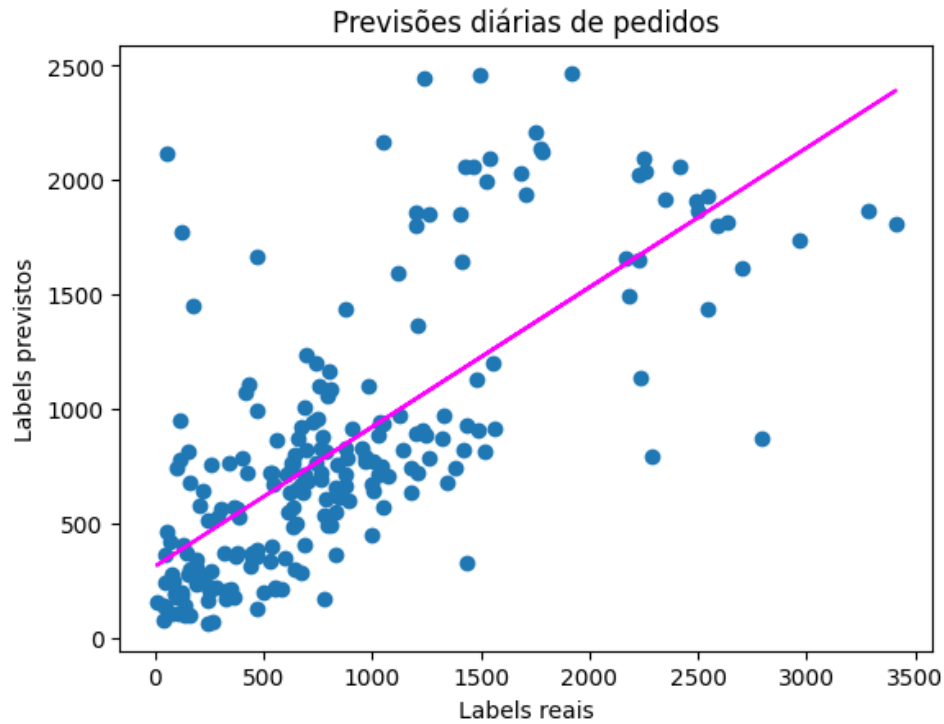
Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

#### 5.5.4. Algoritmos Ensemble

Com a aplicação do algoritmo Random Forest, as métricas obtiveram melhoria, conforme figura 26.

Figura 26. Métricas obtidas com aplicação de algoritmos ensemble (Random Forest)

**MSE: 247682.47482237444**  
**RMSE: 497.6770788597506**  
**R2: 0.5016807299899608**

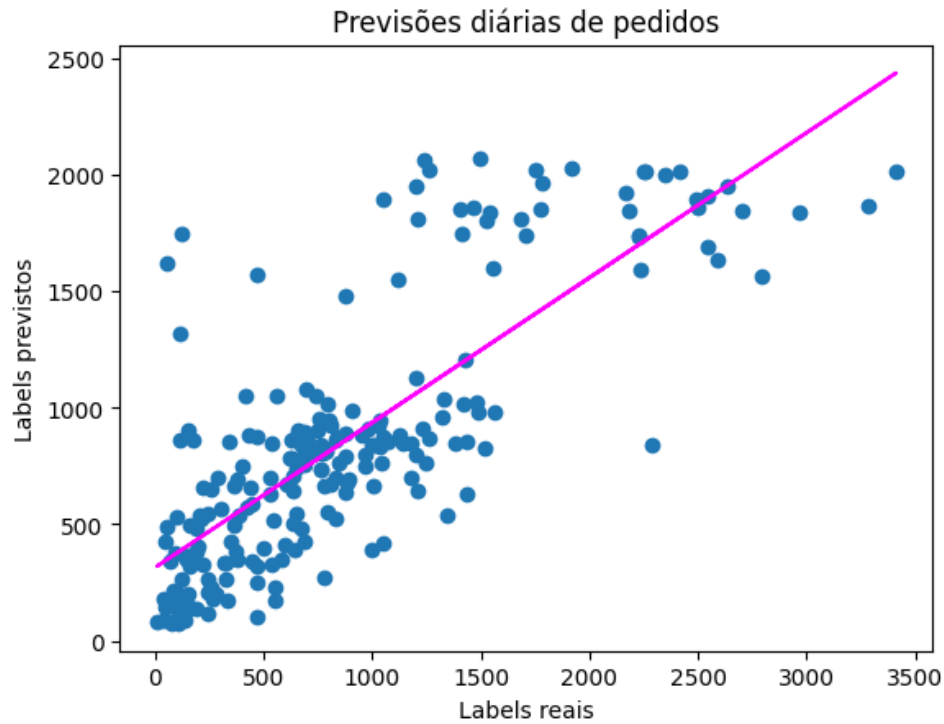


Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Para garantir um resultado melhor, foi testado um algoritmo *ensemble* de reforço, o estimador *Gradient Boosting*, que como um algoritmo *Random Forest*, constrói várias árvores, mas em vez de construí-las, todas independentemente, e obter o resultado médio, cada árvore é construída sobre a saída da anterior, em uma tentativa de reduzir gradualmente a perda (erro) no modelo (Figura 27).

Figura 27. Métricas obtidas com aplicação de algoritmos Ensemble (Gradient Boosting)

MSE: 186550.6340018776  
RMSE: 431.915077303256  
R2: 0.6246735832949295



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

#### 5.5.5. Otimização dos parâmetros e do processamento

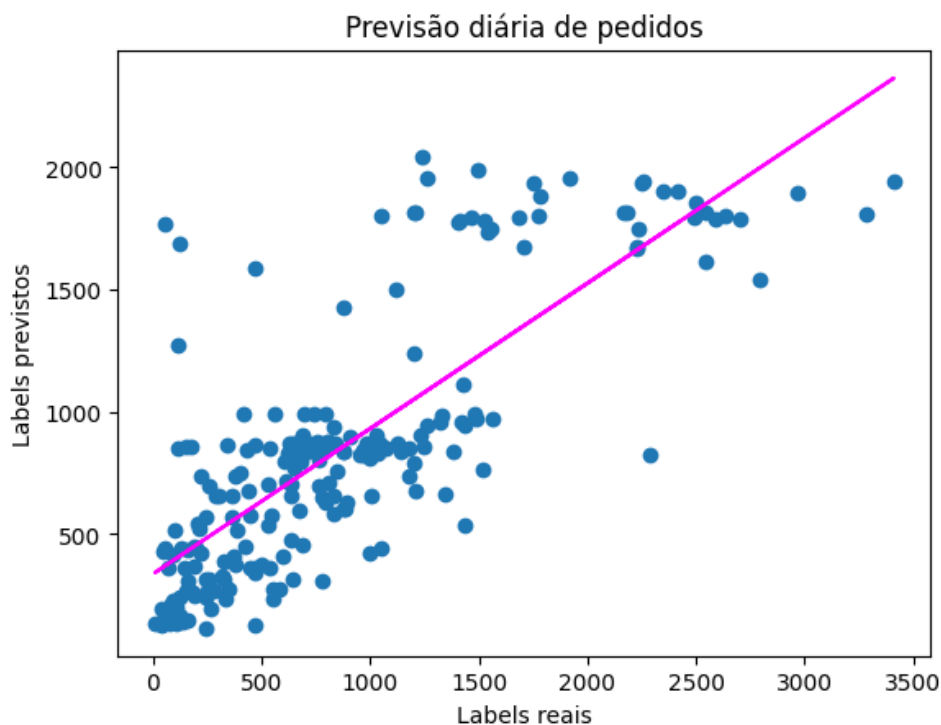
Inicialmente, tentou-se alterar o número de estimadores do algoritmo GradientBoosting, a fim de melhorar as métricas do model, conforme figura 28.

Figura 28. Alteração de hiperparâmetros do algoritmo de melhor resultado, o GradientBoosting

```
Melhor combinação de parâmetros: {'learning_rate': 0.1, 'n_estimators': 50}
```

```
GradientBoostingRegressor(n_estimators=50)
```

```
MSE: 187435.4139997086  
RMSE: 432.9381179795891  
R2: 0.6228934697727482
```



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

No dataset de exemplo dos pedidos de animais, não há uso de valores numéricos, apenas categóricos.

Como os modelos de aprendizado de máquina funcionam melhor com recursos numéricos em vez de valores de texto, foram convertidos recursos categóricos em representações numéricas. Logo, para tratar os dados categóricos e tentar melhorar as métricas do modelo, foi utilizada a técnica de *one-hot encoding*. No aprendizado de máquina, a codificação one-hot é um método frequentemente usado para lidar com dados categóricos já que os modelos de aprendizado de máquina precisam que suas variáveis de entrada sejam preferencialmente numéricas (BROWNLEE, 2017). Por exemplo, os dados incluíam o seguinte recurso categórico.

Linhagens:

BalbC/An

C57/BL6

Swiss

Aplicou-se a codificação ordinal para substituir um valor inteiro exclusivo para cada categoria, desse modo:

Linhagens:

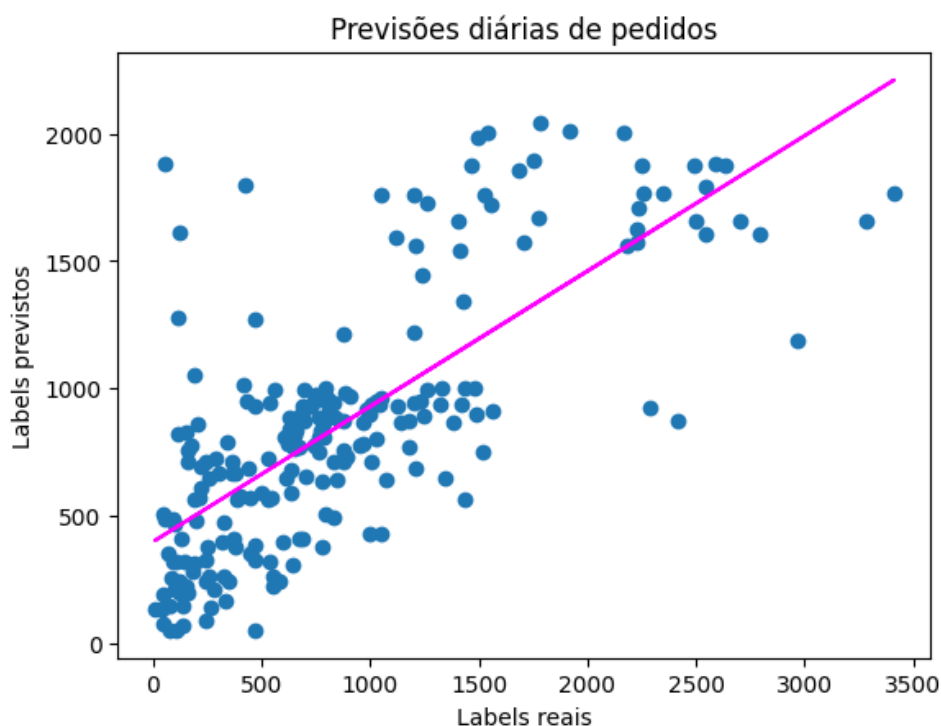
BalbC/An	-	0
C57/BL6	-	1
Swiss	-	2

Foi utilizada também uma codificação ativa para criar recursos binários individuais (0 ou 1) para cada valor de categoria possível (no caso, linhagens).

Para aplicar essas transformações de pré-processamento aos pedidos de animais, usou-se um recurso do *Scikit-Learn* chamado *pipelines*. Isso permitiu definir um conjunto de etapas de pré-processamento que terminou com os algoritmos *GradientBoosting* e o *RandomForest* representados abaixo (Figuras 29 e 30).

Figura 29. Métricas com GradientBoosting

MSE: 223607.15013239102  
RMSE: 472.8711771004774  
R2: 0.5501185463246491

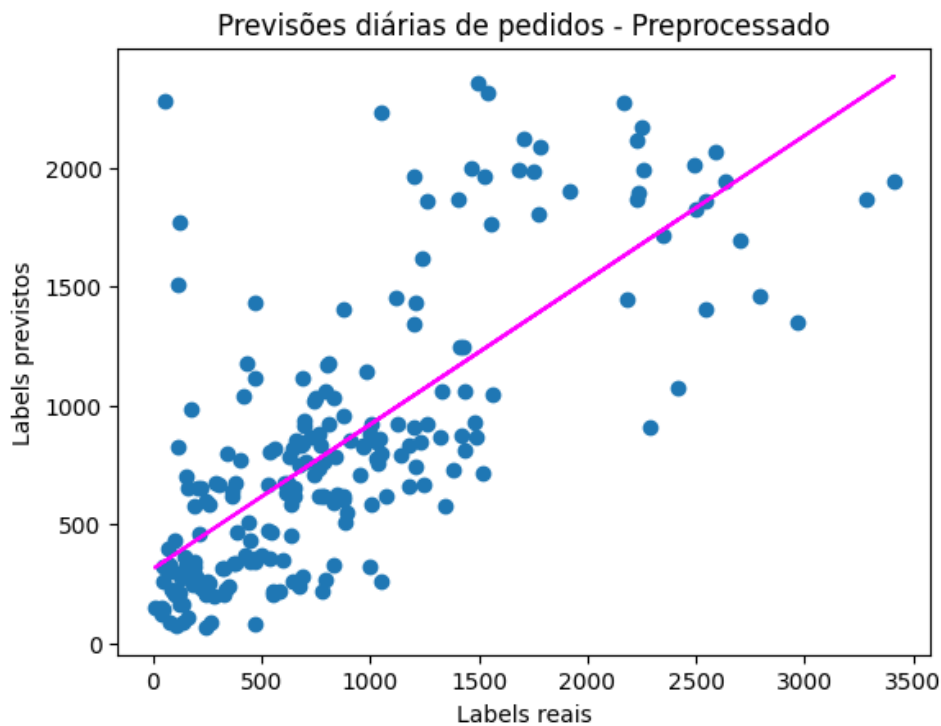


Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.



Figura 30. Métricas com Random Forest

MSE: 230492.4158671233  
 RMSE: 480.0962568768093  
 R2: 0.5362658884116598



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

#### 5.5.6. Aplicação do modelo treinado

Inicialmente, o modelo foi salvo para que o mesmo pudesse ser utilizado na aplicação. Posteriormente, foi carregado o modelo a fim de testar a previsão dos rótulos para novos dados (Figura 31). Essa fase geralmente é chamada de pontuação ou inferência.

Figura 31. Inserção de novos dados para inferência

Nova amostra: [3.0, 1.0, 0.0, 6.0, 1.0]  
 Previsao: 274 pedidos

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

O método de previsão do modelo aceita uma matriz de observações, portanto, é possível usá-lo para gerar várias previsões em lote. Por exemplo, suponha que se tenha uma previsão de pedidos para os próximos oito dias; pode-se usar o modelo para prever os pedidos para cada dia, conforme figura 32.

Figura 32. Previsão do modelo para um período de oito dias

**Previsões de pedidos para 8 dias:**

274.0  
274.0  
110.0  
128.0  
74.0  
141.0  
142.0  
179.0

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Registros de informações zootécnicas

O software foi desenvolvido de modo a permitir o registro de fichas zootécnicas de acordo com a finalidade da colônia no biotério, constituindo-se em 13 tipos de fichas, que podem ser observadas no Apêndice 2:

- Ficha de fundação *Inbreed*;
- Ficha de fundação *Outbreed*;
- Ficha de fundação AnGM (Animal Geneticamente Modificado);
- Ficha de produção *Inbreed*;
- Ficha de produção *Outbreed*;
- Ficha de produção AnGM (Animal Geneticamente Modificado);
- Ficha de reservados da fundação *Inbreed*;
- Ficha de reservados da fundação *Outbreed*;
- Ficha de reservados da fundação AnGM (Animal Geneticamente Modificado);
- Ficha de reservados da produção *Inbreed*;
- Ficha de reservados da produção *Outbreed*;

- Ficha de reservados da produção AnGM (Animal Geneticamente Modificado);
- Ficha de Fêmeas Grávidas.

Com isso, o processo de movimentação dos animais se tornou inteiramente informatizado, eliminando a etapa posterior de traslado desses dados entre fichas de identificação manuais e planilhas eletrônicas e, conseqüentemente, reduzindo a probabilidade de erros de transcrição e dando mais confiabilidade aos dados zootécnicos.

## 6.2. Funcionalidades sobre os dados zootécnicos

Foi possibilitada a criação de relatórios sobre os dados zootécnicos a fim de facilitar o entendimento e leitura da situação pelos gestores, com utilização de gráficos e demais elementos visuais que são procedentes das fichas zootécnicas utilizadas nas salas de animais, conforme exemplo na Figura 33.

Figura 33. Registro de nascimento por ordem de parto com informações de cada animal

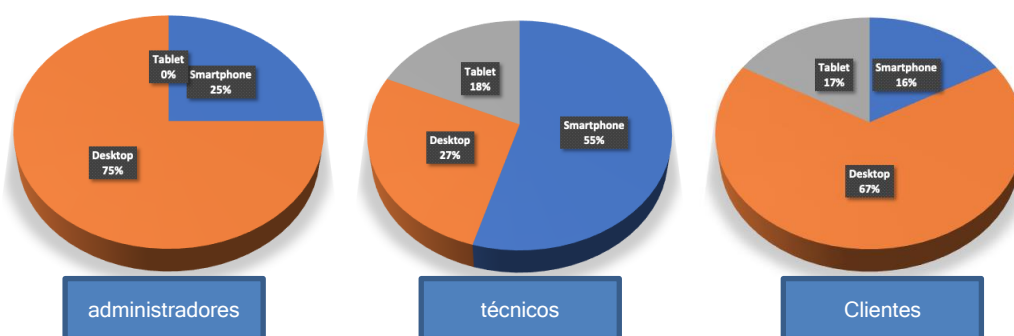
OP	Filhotes	Nascimento	Nascidos	Desname	Status	Transferência	Natimorto	Canibalismo	Raquitismo	Ação	
1		03/23	4	08/23							
	<b>Id</b>	<b>Geração</b>	<b>+Info</b>	<b>Dt Nasc</b>	<b>Dt Desname</b>	<b>Status</b>	<b>Sexo</b>	<b>Idade(dias)</b>	<b>Espécie</b>	<b>Linagem</b>	<b>Ação</b>
	2572	3		03/23	08/23		Fêmea	7 dias	Camundongo	Swiss Webster SPF	
	<b>Grávida</b>	<b>Natimorto</b>	<b>Canibalizado</b>	<b>Raquitico</b>	<b>Transferido</b>	<b>Doente</b>	<b>Morto</b>	<b>Outras Causas</b>	<b>Sentinela</b>		
	2573	3		03/23	08/23		Fêmea	7 dias	Camundongo	Swiss Webster SPF	
	2571	3		03/23	08/23		Macho	7 dias	Camundongo	Swiss Webster SPF	
	2570	3		03/23	08/23		Macho	7 dias	Camundongo	Swiss Webster SPF	
2		05/23	3	07/23							
OP	Filhotes	Nascimento	Nascidos	Desname	Status	Transferência	Natimorto	Canibalismo	Raquitismo	Ação	

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

### 6.3. Resultados da pesquisa de UX Design

Os gráficos abaixo (Figura 34) ilustram a resposta dos administradores, técnicos e clientes, respectivamente, com relação ao domínio de dispositivos. A maioria dos administradores tem domínio sobre computadores desktop (75%), enquanto dentre os técnicos a maioria domina uso de celulares (55%) e dentre os clientes/usuários, 67% dominam uso de computadores desktop.

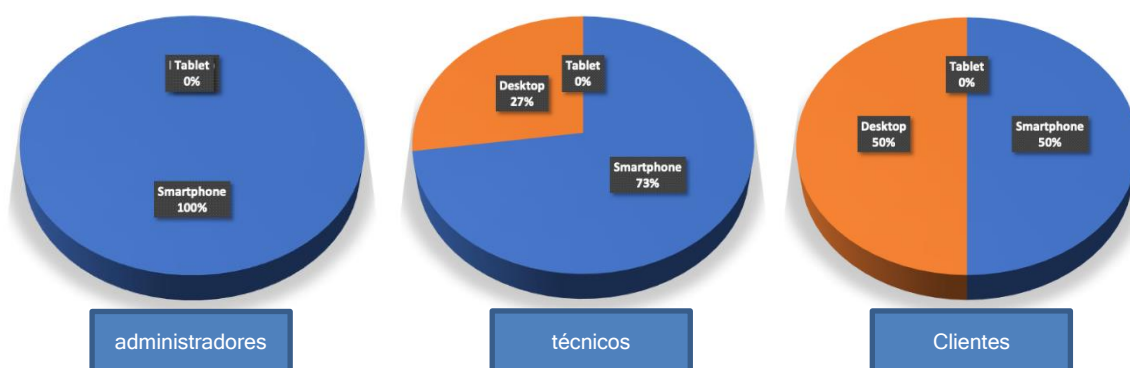
Figura 34. Domínio de dispositivos tecnológicos



Fonte: AMARAL, 2022

Na figura 35 observam-se os gráficos dos dispositivos preferenciais para acesso à internet referentes aos administradores, técnicos e clientes, respectivamente, demonstrando que a maioria em todas as categorias preferem celulares (smartphone).

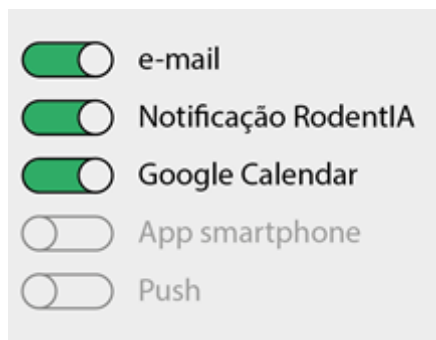
Figura 35. Dispositivos preferenciais para acesso à internet



Fonte: AMARAL, 2022

Foram mapeadas as opções preferenciais para recebimento de notificações pelos usuários do sistema, conforme figura 36, os quais demonstraram a preferência por notificação por e-mail, primeiramente, mas também pelo próprio sistema e pelo calendário da Google.

Figura 36. Principais escolhas de como os usuários gostariam de receber as notificações




Fonte: AMARAL, 2022

O estudo também levantou o perfil dos usuários do biotério através da criação de personas não identificadas (dados anonimizados) a fim de identificar os grupos de profissionais e suas respectivas responsabilidades, objetivos e expectativas com relação ao sistema, conforme ilustrações da Figura 37 abaixo.

Figura 37. Criação das personas representantes dos grupos de usuários do sistema





**Simone de Almenida**

**49 anos**

Simone de Almeida, 49 anos: gestora do Biotério do ICTB, na Fiocruz e como gestora, seus desafios são melhorar o uso de recursos, manter a entrada de dados no sistema pertinente, manter a boa comunicação entre as partes e melhorar os números de descarte de animais.

Ela está sempre muito ocupada fazendo levantamento e planejamento das ações da unidade onde é gestora e para isso, ela precisa de um lugar confiável onde todos os dados são colocados, onde eles possam ser consultados de maneira precisa e com filtros que ela possa manipular para gerar relatórios diferentes de acordo com a necessidade dela.

Os principais obstáculos que ela enfrenta, vem dos vários preenchimentos de formulários de papel, tabelas e bancos de dados em computadores que podem ser facilmente alterados. Ela está otimista pois foram colocados tablets dentro das salas de produção, mas ela sabe que depende de uma inserção correta dos dados gerados na produção para que ela tenha material para desenvolver projetos que possam continuar o processo de melhoria do ICTB. Ela espera que o gerenciamento de colônia fique redondinho para diminuir o descarte e melhorar a expedição de animais.

## PERSONA TÉCNICO

**atividades/responsabilidades:**  
**Produção de animais para utilização dos pesquisadores**

**objetivos:**

- **Calcular o tempo de produção dos animais solicitados;**
- **Acompanhar o desenvolvimento do animais até a entrega;**
- **Reduzir o descarte.**

**expectativas:**  
**Que o sistema reduza a quantidade de retrabalho que acontece no seu local de trabalho.**

**nível de domínio e uso de dispositivos tecnológicos:**  
**Usa dispositivos sedidos pela unidade, não usa o celular para trabalho e domínio básico dos equipamentos de informática.**



**José Carlos**  
**Técnico**

**Idade: 40 anos**  
**Ensino Médio**

**Persona Secundária**  
Possui necessidades adicionais específicas que podem ser atendidas sem prejudicar a capacidade de servir a persona primária.

**motivação:**  
**O material que ele produz é usado em pesquisas que podem ajudar as pessoas.**

**desejos:**

- **Que o sistema o mantenha informado do que ele precisa fazer;**
- **Que o sistema faça previsões de entrega de animais;**
- **que o sistema reduza a quantidade de preenchimento a mão.**
- **Que o sistema seja intuitivo o bastante para que ele aproveite e melhore seu desempenho.**



**José Carlos**

**40 anos**

José Carlos tem 40 anos e é técnico na sala de produção do ICTB, Fiocruz. Onde ele trabalha, ele tem que ficar atento ao processo de criação dos animais.

Esse processo passa pelo acasalamento, parto, desmama, idade e peso do animal. Todos esses processos tem um ciclo temporal que é muito importante respeitar para que o animal tenha a utilidade correta na mão do pesquisador.

Para realizar seu trabalho, ele checa as gaiolas dos animais e anota os resultados em formulários de papel. Dentro da sala de produção, um obstáculo que as vezes o faz perder suas anotações é a utilização de álcool para a higienização das suas mãos, se o álcool encostar no papel, ele pode perder as suas anotações.

Saindo da sala de produção, ele mesmo ou um terceiro preenche as informações tiradas do formulário de papel em uma planilha de computador. Esse preenchimento, muitas vezes, não acontece no mesmo dia, aumentando o risco de divergência de dados. Quando é detectado uma divergência ele pode conferir o que está errado ou apenas alterar sem conferir, o que gera inconsistência nos dados.



## PERSONA ADMINISTRATIVO

atividades/responsabilidades:

**Trabalhos administrativos, recebe os pedidos dos RTs**

objetivos:

- Melhorar a negociação de animais com RTs;
- Dar suporte a produção conferindo os dados;
- Administra a entrega de dos pedidos de animais prontos.

expectativas:

**Que o sistema traga em relatórios informações pertinentes ao cenário real da produção.**

nível de domínio e uso de dispositivos tecnológicos:

**Prefere trabalhar com computador, porém, usa muito aplicativo de mensagens para se comunicar com RTs.**



**Jeanne Galvão**

**ADM**

**Idade: 36 anos**  
Graduada

**Persona Suplementar**

Suas necessidades são completamente representadas por uma combinação de personas primárias e secundárias e são totalmente satisfeitas pela solução que desenvolvemos para uma de nossas primárias.

motivação:

**Sabe que o seu trabalho bem feito reflete e muitos departamentos e pode melhorar para todos.**

desejos:

- Eliminar os formulários em papel;
- Melhorar a comunicação com os RTs;
- Ter a disposição as negociações realizadas para consultas posteriores.
- Melhorar a avaliação do atendimento aos clientes;
- Que os pesquisadores e os RTs tivessem acesso à quantidade de animais sem destinação.



**Jeanne Galvão**

**36 anos**

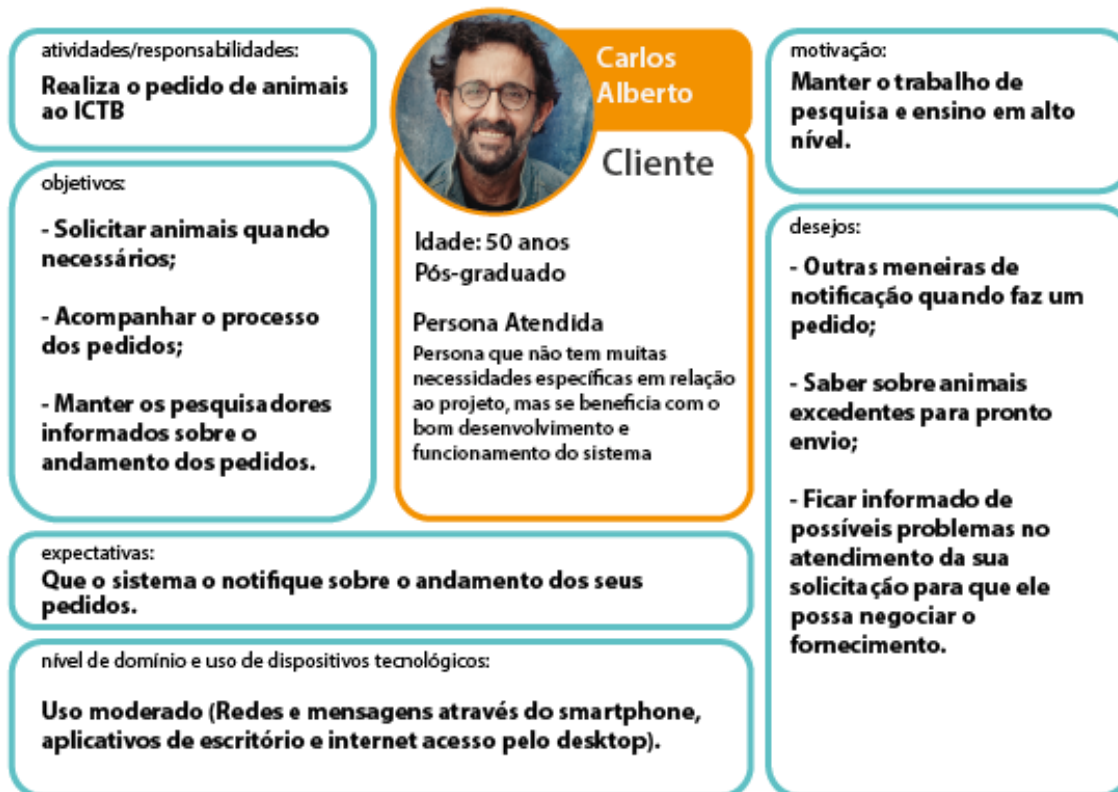
Jeanne Galvão trabalha na parte administrativa do ICTB, Fiocruz. Faz parte do seu trabalho jogar os formulários da planilha para dentro do sistema atualmente em uso, o Sicopa.

Ela encontra muito problema na hora de fazer essa transposição, pois a planilha tem os cálculos do sistema e gera resultados assim que as lacunas não preenchidas, porém, as informações inseridas na planilha podem ser alteradas e isso gera muito transtorno.

Quando ela joga as informações no sistema, se a planilha estiver preenchida errada, pode dar animal negativo. Quando isso acontece ela precisa achar o erro e para ela achar o erro ela precisa conversar com técnico que fez aquela anotação nos formulários de papel. Para ela descobrir quem foi o técnico, ela tem que recorrer a outro formulário onde diz que dupla de técnicos estava atuando na sala e no dia que ocorreu o erro. Esse formulário é outro problema, isso porque ele nem sempre é preenchido por todos que usam as solas de criação, se esse for o caso, ela tem que passar quase o dia todo perguntando no boca-a-boca quem estava na sala X na hora H. Tudo isso é só o começo, pois quando ela achar, ela precisa depender da boa vontade de pelo menos um dos técnicos para resolver o problema.



## PERSONA CLIENTE



**Carlos  
Alberto**

**50 anos**

Carlos Alberto, 50 anos, Médico Veterinário e responsável técnico pelos pedidos de animais ao biotério do ICTB.

O trabalho do Carlos é atender os pedidos específicos de animais para os pesquisadores e isso inclui linhagem, idade, sexo, entre outras definições. Depois que o pesquisador o passa o que precisa, ele entra em contato com o ICTB para realizar o pedido.

Ele sabe que o processo de produção animal é demorado e ele aguarda tranquilamente, porém se o sistema não o informa sobre problemas no pedido, ele não pode resolver.

Hoje ele estava mexendo nas suas anotações e descobriu que um pedido tinha sido feito a 30 dias e ele não sabia o status ainda então ele decidiu entrar em contato com o ICTB. Assim ele descobriu que seu pedido não foi aceito porque infelizmente o técnico mandou uma mensagem para ele pelo sistema em uso dizendo que havia uma divergência no seu pedido e o pedido ainda não foi para produção.

Agora é a vez dele explicar para o pesquisador o que aconteceu.

## 6.4. Sistematização dos processos e fluxos de trabalho

O *software* mapeou os processos internos por meio da disponibilização de funcionalidades como alertas de prazos e módulo de comunicação a fim de facilitar a interação entre os atores e suprir a gestão com informações capazes de fortalecer a tomada de decisão, conforme é possível observar na Figura 38.

Figura 38. Exemplo de ficha para registro das informações zootécnicas

The screenshot displays the RodentIA software interface for recording zootecnic information. The interface is organized into several sections:

- Header:** Includes the RodentIA logo, navigation tabs (Ficha, QR Code, Filhotes, Entrada, Saída, Dados Gerais, Partos, Localização, Transferências), and user information (Calendários, Relatórios da Ficha).
- Form Fields:**
  - ID do Sistema:** 1/2023
  - Nº Galota:** 14
  - Acasalamento:** 03/01/2023
  - Nascimentos:** 03/23 (4) and 05/23 (3)
  - Data Desmame:** 08/23 and 07/4/23
  - Data de Nascimento:** 04/01/2023
  - Data de descarte:** 14/01/2023
  - Motivo:** 014/23
- Summary Table:**

Total de Nascidos	Machos vivos	Fêmeas vivas
7	3	4
- Observation and Responsible:**
  - Observação:** 7
  - Responsável:** Igor Machado

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

## 6.5. Cálculo de produção

A redução dos custos com insumos ao longo do tempo e otimização na manutenção e qualidade dos animais produzidos no SCRL será alcançada a partir do cálculo de produção inserido que possui informações sobre a linhagem, quantitativo de animais, média de partos, tamanho da ninhada e margem de segurança, evitando a criação de animais acima da demanda. A Figura 39 abaixo demonstra a tela para cálculo de produção no RodentIA.

Figura 39. Tela de cálculo da produção

A imagem mostra a interface de usuário do sistema RodentIA para o cálculo de produção. O formulário contém os seguintes campos:

- Linhagem: Seleciona a linhagem
- Nº de Animais Solicitados: 600
- % Margem de Segurança: 20
- % Frequência do Sexo na Ninhada: 55
- Nº de Partos/Fêmea (média da colônia): 4
- Tamanho da Ninhada/Fêmeas (média da colônia): 8
- Frequência da entrega do pedido (em dias): 30

Abaixo dos campos, há um botão "Calcular" e o horário "11:43 minutos".

## 6.5. Previsão de animais fornecidos e medição da margem de risco

Foram identificadas duas necessidades urgentes a fim de otimizar o controle sobre o descarte animal e, com isso, alinhar com o princípio da Redução dos 3Rs: a previsão de animais a serem solicitados, de acordo com os pedidos de anos anteriores, e a medição da margem de risco para auxiliar no cálculo da margem de segurança, de acordo com a linhagem. Ambas as funcionalidades estão disponíveis no menu inicial do RodentIA, conforme figuras 40 e 41.

Figura 40. Módulo para medição da margem de risco, indicando uma margem de risco alto para a linhagem Black, de acordo com os demais fatores estabelecidos



**Medição da Margem de Risco**

Selecione os fatores abaixo para obter a classificação do risco:

Black (0) ou Swiss (1): 0	Risco de Descarte: 9	Fotoperíodo(h): 16
Temperatura: 22	Risco de descarte: alto 	Ruído(dB): 77
Amônia: 29		Intensidade Luminosa (Lux): 287
Idade(dias): 730		Umidade: 97
Peso(g): 100		Infecções: 1
Sexo Fêmea (0) / Macho (1): 0		Animais por gaiola: 5

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

Figura 41. Módulo para medição da margem de risco, indicando uma margem de risco baixa para a linhagem Swiss, de acordo com os demais fatores estabelecidos



**Medição da Margem de Risco**

Selecione os fatores abaixo para obter a classificação do risco:

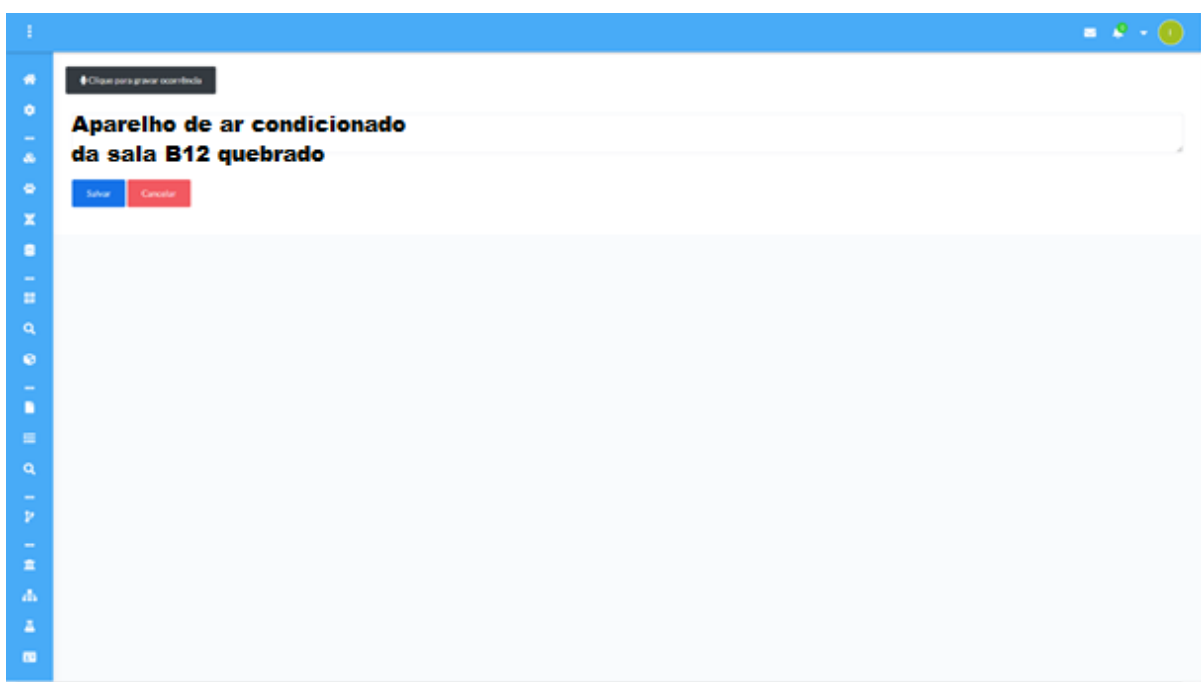
Black (0) ou Swiss (1): 1	Risco de Descarte: 3	Fotoperíodo(h): 16
Temperatura: 22	Risco de descarte: baixo 	Ruído(dB): 77
Amônia: 13		Intensidade Luminosa (Lux): 287
Idade(dias): 730		Umidade: 97
Peso(g): 100		Infecções: 1
Sexo Fêmea (0) / Macho (1): 0		Animais por gaiola: 5

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

## 6.6. Registro de ocorrências

A necessidade de registro de ocorrências pelos técnicos foi introduzida de modo mais intuitivo, através da transcrição de voz para texto (*Speech To Text*), de modo a dinamizar a interação do usuário com a ferramenta dentro das salas de criação. O gestor pode acompanhar as ocorrências e prover soluções para as mesmas.

Figura 42. Tela para registro de ocorrências dentro das salas de criação.



Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

## 6.7. Disponibilização dos POPs

Foi também inserida uma funcionalidade para disponibilizar o acesso digital aos documentos referentes aos Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) do setor a fim de eliminar a impressão e trânsito de papéis nas áreas de criação. O usuário acessa o POP referente à atividade que quer consultar por meio de acesso à Lista de POPs que está disponível na tela inicial e apresenta os arquivos em formato PDF ao serem clicados (Figura 43).

Figura 43. Tela para consulta dos Procedimentos Operacionais, documentos elaborados pela equipe de qualidade.

POP	Documento	Ação
Controle de acesso de pessoal às Áreas de Criação de Roedores e Lagomorfos	Visualizar	✕
Recebimento de materiais SEJIE	Visualizar	✕
Registro e acompanhamento da temperatura e umidade das salas de criação de roedores e lagomorfos	Visualizar	✕

Fonte: RodentIA, Igor Machado de Castro, 2023.

## 7. DISCUSSÃO

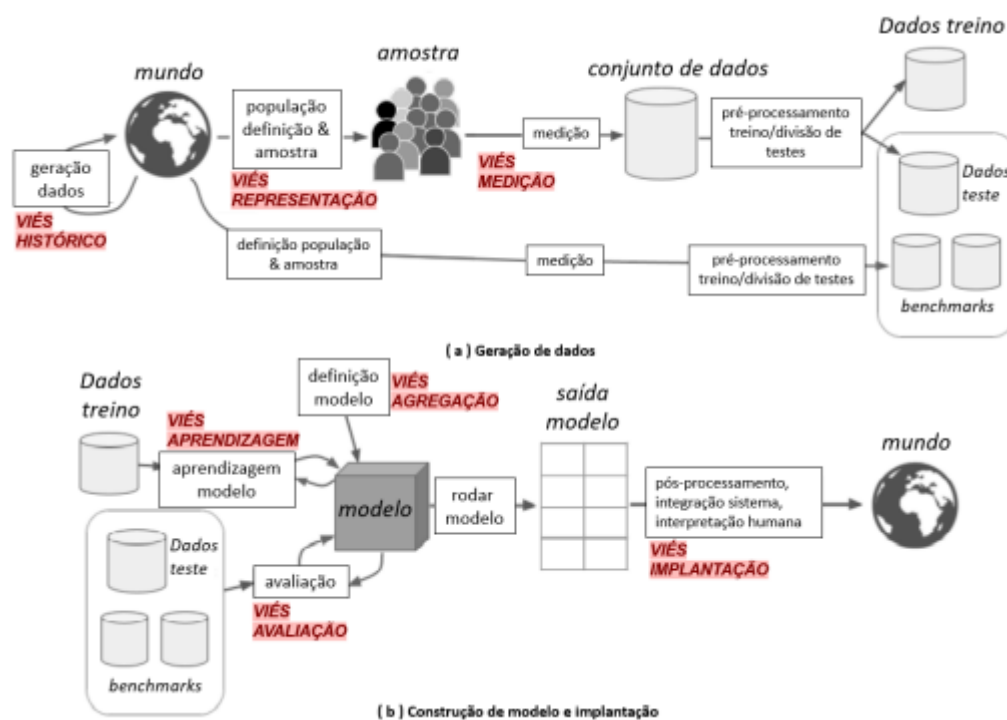
O RodentIA foi desenvolvido com objetivo principal de proporcionar o registro fidedigno das informações e a sistematização de processos oriundos do biotério de criação do ICTB e a comunicação com biotérios usuários a fim de balizar a tomada de decisão. Porém, além de minimizar problemas internos do ICTB, como o controle maior sobre a produção de animais e a redução de custos, o sistema tem o potencial de gerar informações para formação de políticas públicas e legislações que auxiliem na redução do desperdício de animais por produção elevada e descontrolada.

A grande quantidade de bases de dados administrativas do Governo, somada a outras construídas por meio de experimentos, estudos observacionais ou até mesmo provenientes de prestadores de serviços privados, geram grande oportunidade de produção de evidências para uso em políticas públicas. Porém, devido à importância de evidências de qualidade, as instituições que desejam contribuir com o processo de geração de evidências para uso de políticas públicas precisam fortalecer e sistematizar seus processos de geração de evidências, de forma que possam ser suficientes, íntegras, confiáveis, fidedignas, relevantes e úteis à tomada de decisões em políticas públicas. Dessa forma, o registro confiável dos dados e o consequente uso de IA pelo Estado tem o potencial de não somente aumentar sua eficiência

nos processos internos, como fases de formulação de políticas públicas ou demais macroprocessos de suporte, como também na melhoria da prestação de serviços ao público-alvo das políticas públicas por meio de redução de erros nas decisões (CHAVES, 2022).

Segundo Chaves (2022), a utilização de sistemas de IA poderá propiciar um salto de melhoria na qualidade, na uniformidade e nos custos das políticas públicas. Isto é possível por serem concebidos em algoritmos que estabelecem sequências definidas de ações e no uso de modelos desenvolvidos com o uso de métodos estatísticos e matemáticos e, com isso, menos sujeitos à dependência e à variabilidade da capacidade humana de decisão (vieses e ruídos) de diferentes pessoas inseridas numa cadeia do processo de decisão. Porém, para que esses ganhos sejam assegurados sem a contrapartida de ocorrência de danos a terceiros, há que se garantir um processo adequado de governança e princípios éticos guiando sua utilização na política pública. O processo de gerenciamento dos riscos deve considerar não somente os riscos cognitivos aos quais uma decisão humana estaria sujeita, como também os novos riscos específicos e inerentes ao de adoção de uma solução de IA para o apoio ou tomada de decisão em determinado contexto específico. Dentre as diversas formas de explicitar e agrupar as formas de vieses citadas na literatura em sistemas de IA (MEHRABI et al., 2021; NTOUTSI et al., 2020), cita-se a sugerida por Suresh(Suresh e Guttag, 2021) pelos estágios do ciclo de vida de IA, que identificam 7 (sete) diferentes potenciais origens para viés em sistemas apoiados por IA que podem causar danos a terceiros, conforme apresentado na Figura 44.

Figura 44. Fases com potencial de geração de viés para um sistema de IA



Fonte: Chaves, 2022

Há a necessidade de adaptação da gestão e equipes à nova realidade que se apresenta. A IA tem se tornado comum em aplicações do dia a dia e, certamente, precisa ser adotada quando necessária e não de modo desmedido. Isso implica uma remodelação a nível de treinamentos, aceitação e incorporação da tecnologia na cultura da organização (KUMAR, 2019). A análise e revisão de dados e relatórios é correta e faz-se sempre necessária, mas é preciso também que haja uma certa confiança dos gestores e demais membros da equipe nos dados apresentados pelo sistema como resultado do processo de trabalho realizado. Ignorar relatórios e estatísticas é ater-se a processos de trabalho informais que não podem ser rastreados. Assim como o registro incorreto dos dados provocará um viés histórico, conforme figura acima. Isso pode implicar em evidências não fidedignas e, conseqüentemente, em interpretações errôneas por parte dos gestores no momento da tomada de decisão.

Pensando neste aspecto, o RodentIA foi desenvolvido a partir do apoio da Direção do ICTB e também com participação ativa da liderança do SCR, a qual definiu quais dados seriam utilizados para aplicação da inteligência artificial e geração de relatórios.

Vale sempre lembrar que ferramentas de Tecnologia da Informação (TI), de modo geral, não corrigem fluxos e processos mapeados pela área de qualidade, apenas os automatizam, e nem mesmo alteram a cultura organizacional e métodos de trabalho já



preconizados e enraizados pela instituição porém, podem auxiliar na identificação de problemas específicos. A tecnologia confere mais celeridade à eliminação de erros e maior concentração das equipes na resolução dos problemas identificados e realmente importantes para a área finalística. (WEILL; ROSS, 2005).

De acordo com algumas necessidades levantadas no biotério, como a previsão de animais a serem fornecidos e a medição da margem de risco para a definição da margem de segurança, tais medidas impactam diretamente nas operações financeiras da unidade já que os custos para o biotério, tanto diretos quanto indiretos, giram em torno da quantidade de animais a serem produzidos e mantidos para posterior fornecimento, como também nas operações finalísticas, já que a qualidade dos animais fornecidos tem impacto direto na qualidade e confiabilidade das pesquisas desenvolvidas e publicadas (ANDRADE et al., 2002).

Portanto, o controle eficiente da produção animal tem relação direta com a redução do descarte e vai de encontro ao bem-estar animal, à economicidade de recursos no setor público, à qualidade da pesquisa e melhoria de processos internos, tanto operacionais quanto de gestão. São bens maiores a serem alcançados com o auxílio da tecnologia, a qual precisa ser recebida e incorporada nos fluxos de trabalho, já que muitas vezes isso acarreta mudanças de cultura dentro da organização.

Steve Blank, um ex-CEO de grandes companhias americanas dentre as quais de entretenimento e que, por algum tempo, trabalhou como agente público na Comissão da Costa Californiana, menciona em seu artigo uma reflexão sobre os motivos pelos quais muitas vezes pessoas inovadoras ficam frustradas dentro das organizações. Ainda segundo ele, existe uma cultura de teatro da inovação dentro das organizações, com poucas entregas e muita propaganda. Steve traça uma espécie de hierarquia da inovação para os esforços que surgem dentro de grandes corporações e consiste em: inovação individual, ferramentas e atividades de inovação, inovação baseada em equipe e inovação operacional (BLANK, 2018).

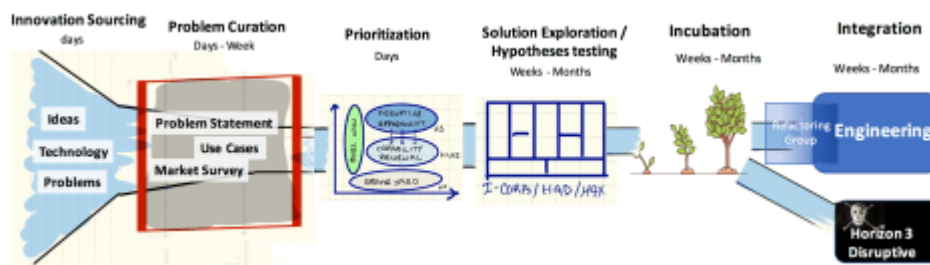
Na inovação baseada em equipe, em vez de apenas ensinar aos inovadores como usar novas ferramentas ou fazer com que criem protótipos, é reconhecida a necessidade de um processo que ensine todos os componentes de um modelo de negócios/missão (quem são os clientes, que produto/serviço resolve o problema do cliente, como se pode levar as soluções até os clientes e como apoiá-los, etc.) O próximo passo na educação empreendedora consiste em ensinar às equipes um processo formal de inovação sobre como reunir evidências que lhes permitam testar se sua ideia é viável, desejável e viável (BLANK, 2018). Importante enfatizar que o processo de desenvolvimento do RodentIA levou em consideração o processo de inovação acima citado, baseado em equipe, ao integrar os interesses da organização com os das

equipes.

À medida que as organizações passam de inovadores individuais trabalhando sozinhos para a adoção de ferramentas e atividades de inovação para equipes de ensino sobre inovação baseada em evidências, a percepção é que ter habilidades/ferramentas e atividades são blocos de construção críticos, mas por si só são insuficientes para construir um programa que forneça resultados importantes para a liderança. Somente quando os líderes seniores veem como um processo de inovação pode fornecer coisas importantes – com rapidez – é que eles agem para mudar os processos e procedimentos que atrapalham (BLANK, 2018; WESKE, 2019).

Contudo, espera-se que o RodentIA seja mais do que um *software* mas o início de um processo de mudança tanto operacional quanto cultural, conforme se pode ilustrar por meio do *pipeline* de inovação proposto por Blank (2018) (Figura 45), que propõe que, para que haja uma alteração de processo, geralmente é preciso uma abordagem holística que envolve não apenas tecnologia, mas também pessoas, cultura e estrutura organizacional. O processo precisa ser analisado, redesenhado e otimizado para aproveitar os benefícios que a tecnologia pode trazer.

Figura 45. Pipeline de inovação



Fonte: Blank, 2018

Além disso, mudar processos envolve abordar questões como resistência à mudança, falta de treinamento ou compreensão de novas tecnologias e garantir que os novos processos estejam alinhados com as metas e objetivos da organização.

Portanto, embora as ferramentas tecnológicas possam ser um facilitador para a mudança de processo, elas não são uma solução milagrosa. É necessária uma abordagem abrangente que envolve abordar todos os aspectos do processo e da organização para efetuar a mudança (OULD, 2005)

Muito dificilmente uma solução contemplará todas as necessidades de um biotério. Os sistemas de gestão devem ser construídos de acordo com as realidades existentes em cada

organização, e os processos e fluxos de trabalho de cada biotério. Diante disso, o RodentIA visa atender tal demanda, não do ponto de vista como um produto pronto para qualquer solução, mas como uma solução livre, gratuita, de código aberto, de modo que cada instituição possa alterá-lo da forma que melhor lhe atender.

Durante a fase de planejamento do sistema, alguns pontos foram previamente observados e levantados como riscos e limitações críticas à implantação e manutenção da solução como listados abaixo:

Ausência de uma política de backup e recuperação de dados, não garantindo a disponibilidade 24 x 7 x 365 (24 horas, durante 7 dias na semana e 365 dias por ano) do sistema.

Não há serviços de redundância do sistema como duplicação de dados em nuvem ou em *data centers* locais, backups alternativos como citado anteriormente e infraestruturas de rede duplicadas no caso de problemas de conexão com a internet. Problemas de conexão com a internet são comuns na unidade e uma das maiores reclamações por parte dos usuários (ELISEU, 2022) e afetam diretamente a operação do sistema no interior das salas de criação.

Ausência de dados digitalizados para aplicação dos algoritmos de IA sobre dados reais da unidade.

Equipe de TI reduzida para futuras manutenções corretivas e evolutivas, implicando na qualidade e tempo de vida do sistema a médio/longo prazo.

Capacidade de computação em nuvem limitada, tanto a nível de espaço de armazenamento quanto de poder de processamento.

Rede elétrica instável com picos de energia não raros, acarretando em queda da conexão com a internet e paralisação do uso do sistema.

Na falta de duplicação das informações, tanto a nível da aplicação (*software* em si) quanto do banco de dados, o tempo de resposta para a resolução de problemas é alto, envolvendo uma certa burocracia desde a abertura de chamados até a resposta com o problema identificado.

## 8. CONCLUSÃO

O projeto do sistema de gestão de biotérios representou um desafio para a unidade, desde sua concepção até o seu desenvolvimento, ainda em fase de adaptações e melhorias. Mas apesar de todas as limitações, o projeto tem um propósito muito importante: contribuir para a melhoria do serviço, desde o controle de animais até o atendimento ao cliente. Sendo assim, ele encontra-se alinhado com a missão institucional e, futuramente, contribuirá com os demais

biotérios públicos do país, devido à sua essência: ser um produto livre para uso, assim como livre para modificações de modo que se adapte à realidade das instituições, contribuindo, de alguma forma, para a Ciência em Animais de Laboratório.

## 9. PRODUTOS GERADOS

- ➔ *Software* de gestão de biotérios da Fiocruz com aplicação de inteligência artificial para auxílio no cálculo de previsão da demanda e medição do margem de risco.
  
- ➔ Capítulo de livro  
CASTRO, I. M.; DAUDT, F.; JORDAO, G. M.; ROCHA, C. E. A. L. ; SILVA, K. S. M. . **Gestão de dados dos animais utilizados em pesquisas biomédicas e seu impacto no Sistema Único de Saúde brasileiro**. In: Jaqueline Maria da Silva, Mozart de Melo Alves Junior, Alayde Ricardo da Silva. (Org.). Comunicação e inovações tecnológicas na saúde. 2ed.Arapiraca: EDUNEAL, 2022, v. 1, p. 26-37.
  
- ➔ Artigos técnicos sobre gestão de biotérios apoiadas por ferramentas  
FRANCELIN, N. ; SILVA, K.S.M. ; CASTRO, I. M. ; KUGELMEIR, T. . Information management in laboratory animal facilities for non-human primates: what we have been using in Brazil. **Biological Models Research and Technology**, v. 22, p. e00082022, 2022.
  
- ➔ Resumos em eventos científicos  
CASTRO, I. M. ; FRANCELIN, N. ; ROCHA, C. E. A. L. ; MILEWSKI, C. S. ; DAUDT, F. ; FROTA, R. ; SILVA, K. S. M. . Softwares para gestão de biotérios: funcionalidades para aplicação dos 3Rs. **Biological Models Research and Technology Journal**, v. 1, p. 36, 2021.

## 10. REFERÊNCIAS

- ALPAYDIN, E. Introduction to Machine Learning (em inglês). [S.l.]: MIT Press, 2010.
- ALVARADO, C.G.; DIXON, L.M. The Laboratory Animal Veterinarian: More Than Just a Mouse Doctor. Comparative Medicine Program. Disponível em: <https://cmp.missouri.edu/?p=20>
- ANDRADE, A.; PINTO, SC; OLIVEIRA, RS., orgs. Animais de Laboratório: criação e experimentação. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002. 388 p.
- AVILA, V.; ADRIAN, J. Uso de métodos de inteligência artificial na avaliação animal. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2022.
- BAEDER, F.M.; PADOVANI, M.C.R.L.; MORENO, D.C.A.; DELFINO, C.S. Percepção histórica da Bioética na pesquisa com animais: possibilidades. Revista BioEthikos - Centro Universitário São Camilo, v. 6, n. 3, p.313-320, 2012.
- BLANK, S. **The Innovation Stack: How to make innovation programs deliver more than coffee cups.** Disponível em: <https://steveblank.com/2018/06/05/whats-next-for-getting-stuff-done-in-large-organizations-the-innovation-stack/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.
- BRASIL. **Lei Nº11.794**, de 08 de outubro de 2008. "Regulamenta o inciso VII do parágrafo 1º do artigo 225 da Constituição Federal, estabelecendo procedimentos para o uso científico dos animais; revoga a Lei Nº6.638, de 08 de maio de 1979; e dá outras providências.", 08 outubro 2008. Disponível em: <[http://www.planaltp.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/lei/111794.htm](http://www.planaltp.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111794.htm)>. Acesso em: 10 janeiro 2018.
- BRASIL. **Decreto no 6.899**, de 15 de Julho de 2009. Dispõe sobre a composição do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA, estabelece as normas para o seu funcionamento e de sua Secretaria-Executiva, cria o Cadastro das Instituições de Uso Científico de Animais - CIUCA, mediante a regulamentação da Lei no 11.794, de 8 de outubro de 2008, que dispõe sobre procedimentos para o uso científico de animais, e dá

outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 16 jul. 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. CONSELHO NACIONAL DE CONTROLE DE EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL – CONCEA.

**Resolução Normativa CONCEA nº 33**, de 18 de novembro de 2016 – Baixa o Capítulo “Procedimentos – Roedores e Lagomorfos mantidos em instalações de instituições de ensino ou pesquisa científica” do Guia Brasileiro de Produção, Manutenção ou Utilização de Animais em Atividades de Ensino ou Pesquisa Científica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, de 18 nov. 2016; Seção I, p. 4.

BROWNLEE, J. **Why One-Hot Encode Data in Machine Learning?** Machinelearningmastery. 2017. Disponível em: <https://machinelearningmastery.com/why-one-hot-encode-data-in-machine-learning/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

CHRISTENSEN C.M.; RAYNOR, M.; MCDONALD R. **What Is Disruptive Innovation?** Harvard Business Review, December, 2015. Disponível em: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

DOKE, S.K., DHAWALE, S.C. Alternatives to animal testing: A review. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 23, p. 223–229, 2015.

FERREIRA, E.K. G. D.; MAZZAROTTO, G.A.C.A.; G.F., SILVEIRA. Zootechnical data analysis in a breeding animal facility: tracing the patterns of mouse production. **Laboratory Animal Research**, v. 37, n.1, 2021.

GUIMARÃES, M.A.; MÁZARO, R. **Princípios Éticos e Práticos do Uso de Animais de Experimentação**. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, 2004.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction**. New York: Springer, 2009.

HO, T. K. **Random Decision Forests**. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 2016.

HOMMA, A.; POSSAS, C.; NORONHA, J.C.; GADELHA, P. Organizadores. **Vacinas e vacinação no Brasil: horizontes para os próximos 20 anos**. Rio de Janeiro: Edições Livres, 2020.

HOPP, C.; ANTONS, D.; KAMINSKI, J.; SALGE, T.O. Disruptive Innovation: Conceptual Foundations, Empirical Evidence, and Research Opportunities in the Digital Age. **Journal of Product Innovation Management**, v. 35, n. 3, p. 446-457, 2018.

KAGELE, D. **Best Practices for Efficient Mouse Colony Management**. The Jackson Laboratories. Disponível em: [https://servicesweb.research.uci.edu/facilitieservices/ular/ulardocuments/jax\\_2015\\_mouse\\_colony\\_managment.pdf](https://servicesweb.research.uci.edu/facilitieservices/ular/ulardocuments/jax_2015_mouse_colony_managment.pdf). Acesso em: 20 de julho de 2022.

KIRK, R.G.W. A Brave New Animal for a Brave New World: The British Laboratory Animals Bureau and the Constitution of International Standards of Laboratory Animal Production and Use, circa 1947—1968. **Isis**; v.101, n.1, p. 62–94, 2010.

KLIEGR, T.; BAHNÍK, S.; FÜRNKRANZ, J. A Review of Possible Effects of Cognitive Biases on Interpretation of Rule-Based Machine Learning Models. **Artificial Intelligence**, v. 295, 103458, 2021.

KUMAR, R. **Artificial Intelligence for Business: What You Need to Know About Machine Learning and Neural Networks**. 1st edition. Chicago Lakeshore Press, 2018.

LEEK, J.T.; PENG, R.D. Opinion: reproducible research can still be wrong: adopting a prevention approach. **Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.**, v.112, n. 6, p. 1645-1646, 2015.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005

MAULUD et al. A Review on Linear Regression Comprehensive in Machine Learning. **Journal of Applied Science and Technology Trends**, v. 1, n. 4, pp. 140 –147, 2020.

MCNEILL, L. The History of Breeding Mice for Science Begins With a Woman in a Barn. *Smithsonian Magazine*. 2018. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/history-breeding-mice-science-leads-back-woman-barn-180968441>. Acesso em: 27 de março de 2022.

MIZIARA, I.D. Ética da pesquisa em modelos animais. **Braz. j. otorhinolaryngol**, v. 78, n. 2, 2012. •

MORONI, F.T.; LOEBEL, E. Arranjos organizacionais de biotérios em universidades públicas brasileiras. **Revista Gestão Organizacional**, v. 10, n. 1, 2017.

MOHRI, M.; ROSTAMIZADEH, A.; TALWALKAR, A. **Foundations of Machine Learning**. 2ed. Cambridge: The MIT Press, 2018.

MULDER, J.P. **Creation and Development of AALAS Programs**. In: American Association for Laboratory Animal Science (AALAS). 50 Years of Laboratory Animal Science. Memphis: AALAS, 1999.

MURPHY, K.P. **The Machine Learning: A Probabilistic Perspective**. Cambridge: MIT Press, 2012.

POWERS, D. M. W. Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation. **Journal of Machine Learning Technologies**, v. 2, n. 1, pp.37-63, 2011.

PRITCHETT-CORNING, K.R.; CHOU, S.T.; CONOUR, L.A.; ELDER, B.J. **Guidebook on mouse and rat colony management**. Wilmington, MA: Charles River Laboratories, 2011.



REIS, D.O.; ARAÚJO, E.C.; CECÍLIO, L.C.O. **Políticas públicas de saúde: Sistema Único de Saúde**. UMA-SUS-UNIFESP. 2012. Disponível em: <http://repositorio.unifesp.br/handle/11600/10233>. Acesso em 15 de dezembro de 2022.

ROWAN, A.N. A brief history of the animal research debate and the place of alternatives. **ATTEX**, v. 12, n. 3, p. 203-211, 2007.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 2nd Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2003. 1112p.

RUSSELL, W.M.S.; BURCH, R.L. (as reprinted 1992). **The principles of humane experimental technique**. Wheathampstead (UK): Universities Federation for Animal Welfare, 1959.

SHALEV-SHWARTZ, S.; BEN-DAVID, S. **Decision Trees: Understanding Machine Learning**. Cambridge University Press, 2014

SILVA, K.S.M.; RAMOS, S.; LEITÃO, F.; FROTA, R.; XEREZ, J.; SOARES, J. P.; MATOS, D. D. S.; VIEIRA, F. S. **Remodelamento do sistema de pedidos de animais para utilização em experimentação - o novo SICOPA/FIOCRUZ**. Anais do XV Congresso da Sociedade Brasileira de Ciência de Animais de Laboratório, 2018, Goiânia. Anais do XV Congresso da Sociedade Brasileira de Ciência de Animais de Laboratório, 2018.

SILVA, J.M.; PONTES, A.N.; SARGES, K.; FERREIRA, M.L. **Inovação e a ciência em animais de laboratório para pesquisas em saúde**. In: SILVA, A.R.; SILVA, J.M.; SÓSTENES, E. Organizadores. Comunicação e inovações tecnológicas na saúde. Arapiraca: Eduneal, 2021. 109 p.

SILVA, K.S.M. **Exercícios de cálculo de produção**. Material didático utilizado na disciplina Criação e Manejo de Animais de Laboratório. Rio de Janeiro: Mestrado Profissional em Ciência em Animais de Laboratório, 2022.

STIPP, G. **Análise de custos no processo de criação de animais na unidade de roedores do biotério central da UFSC**. Orientador: João Randolfo Pontes. 71p. Monografia de conclusão de curso (Graduação) - Ciência Econômicas, Centro Sócio-Econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94671>

YOSHIKI, A.; BALLARD, G.; PEREZ, A.V. Genetic quality: a complex issue for experimental study reproducibility. **Transgenic Res**, v. 31, p. 413–430, 2022.

TAYLOR, J.F. **Evolution of Laboratory Animal Program Management. In: Management of Animal Care and Use Programs in Research, Education, and Testing**. 2nd edition. Weichbrod, R.H; Thompson, G.A.H.; Norton, J.N. editors. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis, 2018.

VEDANI, A. Computer-aided drug design: an alternative to animal testing in the pharmacological screening. **ALTEX**, v. 8, n. 39, 1991.

WESKE, M. **Business Process Management**. Berlin: Springer, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59432-2>

## 11. APÊNDICE



Ministério da Saúde  
Fiocruz  
Fundação Oswaldo Cruz



PROGRAMA  
INOVA FIOCRUZ

### Disposição dos Projetos em Blocos

Os 28 projetos recomendados pelo Programa Inova Fiocruz, foram organizados em 3 blocos:

<b>Bloco 1 - Gestão inteligente baseada em dados (11 projetos) - 15:30 às 15:50h</b>			
<b>Título</b>	<b>Coordenador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Tema</b>
Gestão Estratégica com Internet das Coisas	Alice Paula Di Sabatino Guimarães	Fiocruz Rondônia	Gestão inteligente baseada em dados
Implantar a Plataforma de Gestão de Indicadores de Projetos na Fiocruz, Bahia	Andrezza Kariny Miranda de Souza	Fiocruz Bahia - Instituto Gonçalo Moniz (IGM)	Gestão inteligente baseada em dados
Monitor do Portfólio INCQS	Eduardo Henrique de Arruda Santos	Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde (INCQS)	Gestão inteligente baseada em dados
Gestão de riscos corporativos: avaliação de risco em Direito autoral para gestão e difusão de acervos culturais	Erica da Silva Souza Lopes	Casa de Oswaldo Cruz (COC)	Gestão inteligente baseada em dados
Desenvolvimento de software de gestão integrada dos biotérios da Fiocruz apoiado por inteligência artificial	Igor de Castro Machado	Instituto de Ciência e Tecnologia em Biomodelos (ICTB)	Gestão inteligente baseada em dados
Gestão estratégica da pesquisa e da inovação no Instituto Oswaldo Cruz: o Sistema Integrado de Gestão da Plataforma de Apoio à Pesquisa e Inovação - SIGEPAPI	Jonas Enrique Perales Aguilar	Instituto Oswaldo Cruz (IOC)	Gestão inteligente baseada em dados

**ANEXO**

**Table 1.** Software for laboratory animal facility management and functionalities

Software	Environment control	Control of animal cards/tags	Recording of study protocols	Reproductive management control	Sanitary management control	Genetic Data control	Experimentation control	Link with iacuc	Financial management	Team management	Equipment supervision	Websites
BehaviSoft	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Expt-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Animal Lab Care	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Controle de ambiente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioterc	Ok	Ok	-	Ok	-	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://bioterc.com.br/">https://bioterc.com.br/</a>
tick @ lab	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.a-tune.com/products-services-software/animal-research-facility-software/">https://www.a-tune.com/products-services-software/animal-research-facility-software/</a>
LabCollector	Ok	Ok	-	-	-	-	-	-	Ok	-	-	<a href="https://labcollector.com/">https://labcollector.com/</a>
LARS	-	Ok	-	Ok	Ok	-	-	-	Ok	-	-	<a href="https://www.keyusa.com/landing-page-lars.html">https://www.keyusa.com/landing-page-lars.html</a>
Programa ENOS	Ok	Ok	-	Ok	-	Ok	-	-	-	-	-	<a href="https://poweredbyenos.com/">https://poweredbyenos.com/</a>
Armis	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	Ok	-	-	-	-
Animal Bioware	Ok	Ok	-	Ok	-	-	-	Ok	-	Ok	-	<a href="https://www.animalbioware.com/">https://www.animalbioware.com/</a>
Avidity	Ok	Ok	-	Ok	-	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.aviditybiosciences.com/">https://www.aviditybiosciences.com/</a>
Ponemah	-	-	-	-	Ok	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.databd.com/products/software/ponemah">https://www.databd.com/products/software/ponemah</a>
Cayuse	Ok	Ok	-	Ok	-	-	-	-	-	Ok	-	<a href="https://cayuse.com/">https://cayuse.com/</a>
RPM	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	Ok	Ok	-	-	-
Pris	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	Ok	-	-	-	-
Galliel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.gallielsoftware.com/">https://www.gallielsoftware.com/</a>
Geneoz	Ok	Ok	-	Ok	-	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://www.geneoz.com/">https://www.geneoz.com/</a>
Instem	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://www.instem.com/">https://www.instem.com/</a>
Keyusa	-	-	Ok	-	-	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://www.keyusa.com/products.html">https://www.keyusa.com/products.html</a>
Locus	Ok	Ok	-	Ok	-	-	-	Ok	Ok	-	-	-
MayakInd	Ok	Ok	-	Ok	Ok	-	Ok	Ok	-	-	-	<a href="http://www.mayakind.com/">http://www.mayakind.com/</a>
NorayBio	Ok	Ok	-	Ok	Ok	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://www.noraybio.com/index.php/pt/">https://www.noraybio.com/index.php/pt/</a>

\* features related to the management of non-human primates kept in captivity

Table 1. Continued...

Software	Environment control	Control of animal cards/tags	Recording of study protocols	Reproductive management control	Sanitary management control	Genetic Data control	Experimentation control	Link with lacuc	Financial management	Team management	Equipment supervision	Websites
Osgenic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.osgenic.com/">https://www.osgenic.com/</a>
Sionics (PyRAT)	Ok	Ok	-	Ok	-	-	Ok	Ok	Ok	-	-	<a href="https://www.sionics.com/pyrath.html">https://www.sionics.com/pyrath.html</a>
StudyLog	-	-	-	-	-	-	Ok	-	-	-	-	<a href="https://www.studylog.com/">https://www.studylog.com/</a>
Swiftag systems	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.swiftagsystems.com/">https://www.swiftagsystems.com/</a>
Realview	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ok	<a href="https://realviewimaging.com/">https://realviewimaging.com/</a>
Vium	Ok	-	Ok	-	-	-	Ok	-	-	-	-	<a href="https://www.vium.com/">https://www.vium.com/</a>
amsd	Ok	Ok	-	Ok	Ok	-	-	Ok	-	-	-	-
EZ System sinc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turner scientific	Ok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<a href="https://www.turnerscientific.com/">https://www.turnerscientific.com/</a>
Mosaic vivarium	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://mosaicvivarium.net/">https://mosaicvivarium.net/</a>
Infobedglobal	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://www.infobedglobal.com/">https://www.infobedglobal.com/</a>
Climb-A	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	-	-	-	-
Omikron (LAVAN)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	Ok	-	-	-	<a href="https://www.omikronsystems.com/">https://www.omikronsystems.com/</a>
ZIMS*	-	Ok	-	Ok	Ok	Ok	-	-	Ok	Ok	-	<a href="https://zims.species360.org/Login.aspx?ReturnUrl=%2f">https://zims.species360.org/Login.aspx?ReturnUrl=%2f</a>
ARGOS*	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	-	-	-	-	-	<a href="https://argos.eco.br/">https://argos.eco.br/</a>

\* features related to the management of non-human primates kept in captivity