

# Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

**DEI**  
DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA  
INDUSTRIAL

Número 02 | 05 2021

## Modelo de otimização para localização de hospitais de campanha para COVID-19

Autor(es):

Amanda de Araujo Batista da Silva



# Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 02 | 05 2021

## Modelo de otimização para localização de hospitais de campanha para COVID-19

Autor(es):

Amanda de Araujo Batista da Silva

Orientador: Silvio Hamacher

Coorientadora: Janaina Figueira Marchesi

### CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA  
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguiar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos

# Amanda de Araujo Batista da Silva

- Doutoranda (PUC-Rio) - 1º Período
- Pesquisadora no Tecgaf/PUC-Rio
  - Pesquisadora no Núcleo de Operações e Inteligência em Saúde (NOIS)
  - Atuo em projetos de aplicações de Pesquisa Operacional na área da saúde
- Mestre em Engenharia de Produção (PUC-Rio)
  - Dissertação: Modelo de otimização para localização de hospitais de campanha para COVID-19
- Bacharel em Engenharia de Produção (UERJ)
  - Pesquisadora no Laboratório de Engenharia e Gestão em Saúde (LEGOS)
  - Atuou em projetos na área da saúde com foco em BPM, P.O. e Transporte e Logística

# Publicações

## ➤ Artigos em revistas

WOLLENSTEIN-BETECH, S.; [SILVA, A. A. B.](#); FLECK, J. L. ; CASSANDRAS, C. G.; PASCHALIDIS, I. C. **Physiological and socioeconomic characteristics predict COVID-19 mortality and resource utilization in Brazil**. PLoS One. 2020.

PRADO, M. F.; ANTUNES, B. B. P.; BASTOS, L. S. L.; PERES, I. T. ; [SILVA, A. A. B.](#); DANTAS, L. F.; BAIAO, F. A.; MAÇAIRA, P. M.; HAMACHER, S. ; BOZZA, F. **Analysis of COVID-19 under-reporting in Brazil**. REVISTA BRASILEIRA DE TERAPIA INTENSIVA, v. 1, p. 12, 2020.

ANTUNES, B. B. P. ; PERES, I. T. ; BAIAO, F. A. ; RANZANI, O. ; BASTOS, L. ; [SILVA, A. A. B.](#) ; SOUZA, G. ; MARCHESI, J. F. ; DANTAS, L. F. ; VARGAS, S. A. ; MAÇAIRA, P. M.; HAMACHER, S. ; BOZZA, F. **Progression of confirmed COVID-19 cases after the implementation of control measures**. REVISTA BRASILEIRA DE TERAPIA INTENSIVA, v. 1, p. 1, 2020.

## ➤ Artigos em congressos

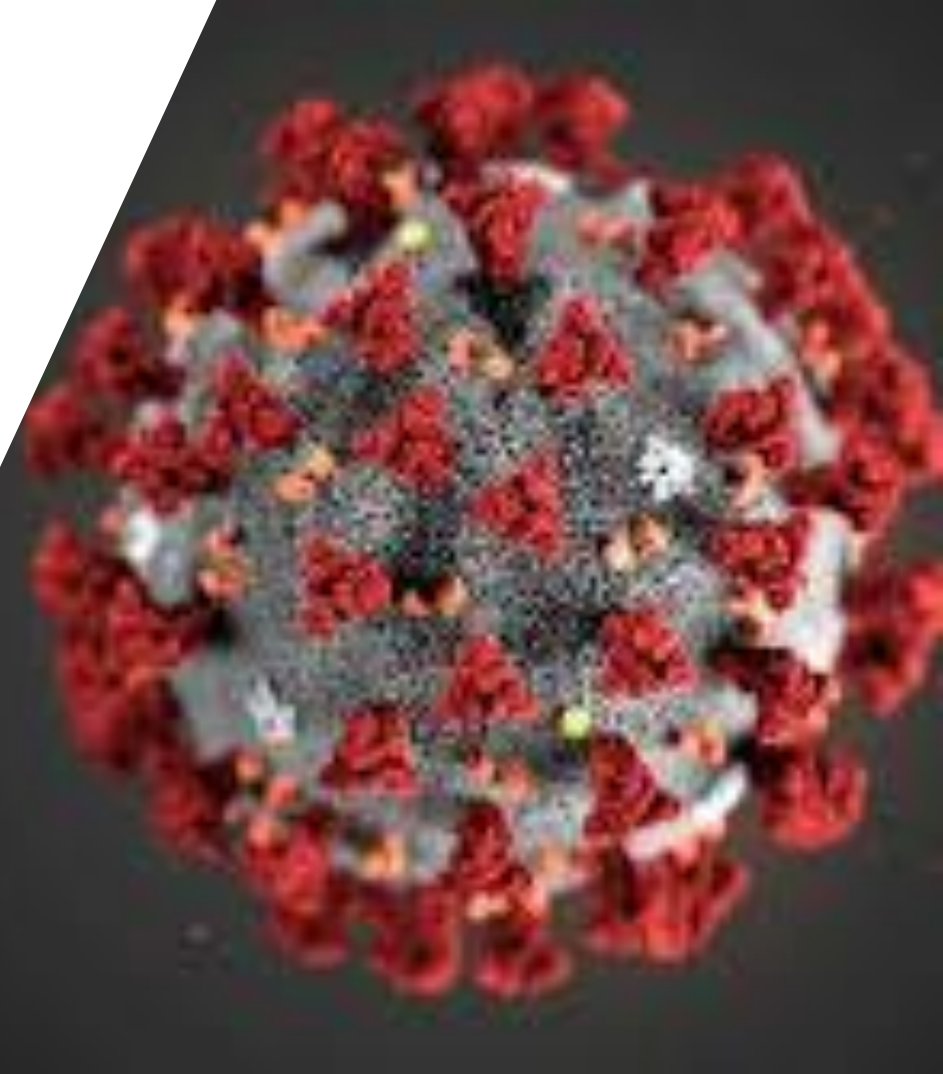
VILARINHO, P. A.; [SILVA, A. A. B.](#); THOMÉ, A. M. T. **Inventory management models in a hospital environment**. LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO 2020).

[SILVA, A. A. B.](#); PEREIRA, H. F. ; FLECK, J. L. **Aplicação de programação dinâmica para planejamento da reposição de materiais hospitalares**. In: LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO 2019), 2019, Limeira. Anais do LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO 2019), 2019.

VIRGILIO, T. A. ; [SILVA, A. A. B.](#) ; RAMOS, A. S. ; PESSOA, L. S. **Aplicação da metaheurística ILS para o conjunto de k-cobertura de conjuntos**. In: LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO 2019), 2019, Limeira. Anais do LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO 2019), 2019.

# Introdução

- ❖ A OMS(2020) declarou em 30 de janeiro de 2020 que o surto de COVID-19 se tornou uma emergência de saúde pública global.
- ❖ A alta demanda por serviços de saúde provocou o estresse do sistema em diversos países.
- ❖ No Brasil, o Ministério da Saúde iniciou sua preparação para enfrentamento da pandemia.
  - Planejamento de ampliação da capacidade dos sistemas de saúde dos estados (OLIVEIRA et al., 2020).



# Objetivos

## ❖ Objetivo Principal

- Propor uma metodologia para localizar hospitais de campanha para tratar pacientes com COVID-19 no Estado do Rio de Janeiro.

## ❖ Objetivos Secundários

- Projetar os números de casos de COVID-19;
- Estimar a demanda de internações e necessidade de uso de Ventilação Mecânica Invasiva (VMI);
- Dimensionar a quantidade de recursos a ser alocada em cada região.

# Delimitação de escopo

## ❖ Período de análise: maio de 2020

- Esperado maior número de casos de COVID-19 (CRODA et al., 2020).

## ❖ Notificações de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG)

- Pacientes graves com suspeita ou confirmados de COVID-19



# Tratamento

- ❖ Planejamento do Ministério da Saúde
  - Aquisição e redistribuição de equipamentos e insumos
  - Principalmente ventiladores mecânicos
- ❖ Construção de novas unidades hospitalares
- ❖ Contratação de leitos em hospitais privados
- ❖ Montagem de hospitais de campanha





# Tratamento



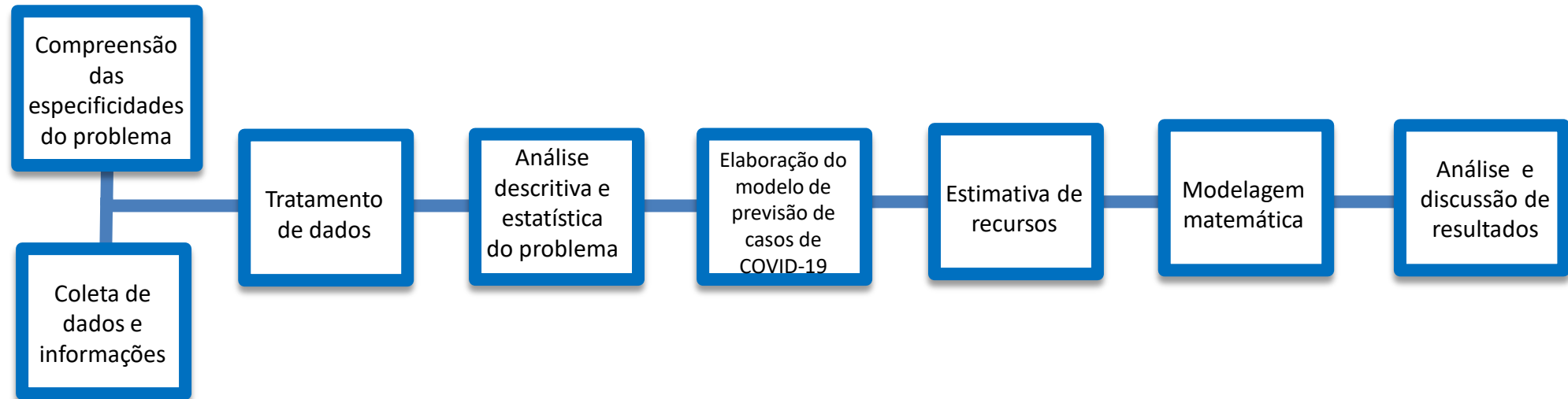
❖ Leitos de enfermaria

❖ Respiradores



❖ Leitos de UTI

# Procedimentos Metodológicos



# Descrição do Problema

Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

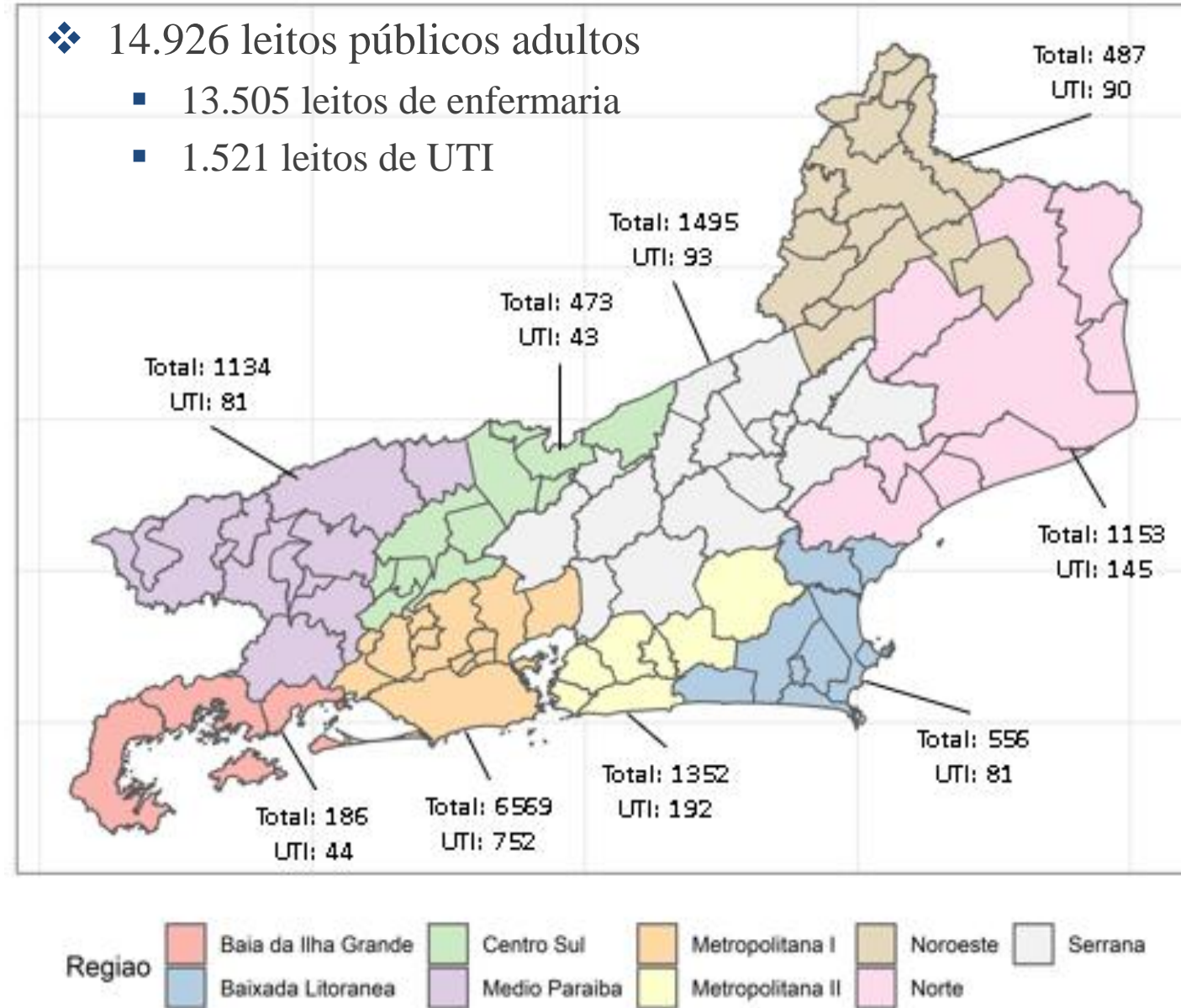
Modelagem matemática

Resultados

- ❖ Em março de 2020, as UTIs de adultos do SUS já estava com uma taxa de ocupação acima de 95% (AMIB, 2020).

## ❖ 14.926 leitos públicos adultos

- 13.505 leitos de enfermaria
- 1.521 leitos de UTI



Fonte: Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) - Fevereiro de 2020

# Descrição do Problema

Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

Região de Saúde	Incidência*		Mortalidade*	
	30/03/2020	30/04/2020	30/03/2020	30/04/2020
Baia da Ilha Grande	0,07	2,09	0,00	0,10
Baixada Litorânea	0,02	2,48	0,00	0,23
Centro-Sul	0,03	2,35	0,03	0,18
Médio Paraíba	0,16	3,89	0,01	0,21
Metropolitana I	0,54	7,11	0,01	0,67
Metropolitana II	0,28	4,31	0,01	0,35
Noroeste	0,00	0,63	0,00	0,03
Norte	0,01	1,41	0,00	0,13
Serrana	0,06	2,25	0,01	0,19

\* por 100 mil habitantes

# Modelo de previsão

O modelo ARIMA (p, q, d) apresenta como fórmula geral a equação:

$$\varphi(B)Z_t = \phi(B) \nabla^d Z_t = \theta_0 + \theta(B)a_t$$

Onde:

t: tempo

$\varphi(B)$ : operador autorregressivo generalizado

$Z_t$ : série temporal

$\phi(B)$ : operador autorregressivo, ou seja,  $\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$

$\nabla$ : operador de diferença, definido como  $\nabla^d Z_t = Z_t - Z_{t-1}$

$\theta(B)$ : operador de médias-móveis, isto é,  $\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$

$a_t$ : erro aleatório, conhecido também como ruído branco

Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

# Modelo de previsão

Análise descritiva e estatística do problema

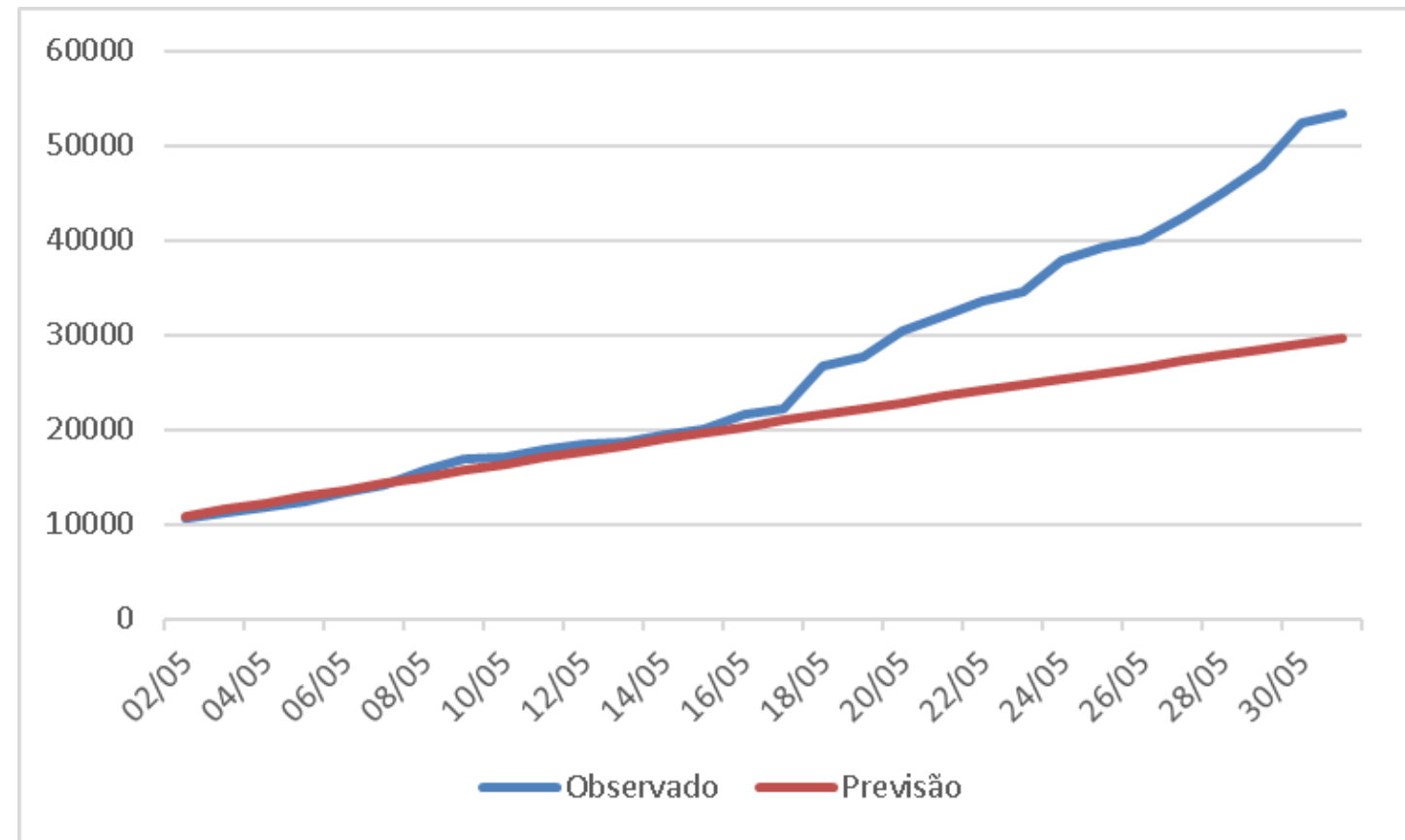
Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

## Projeção de casos confirmados de COVID-19 no Estado do Rio de Janeiro





# Estimativa da necessidade de recursos

Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

Quantificar total de internados em hospitais públicos

Calcular o tempo médio de permanência do paciente

Estimar total de internadas em UTI, enfermaria e em uso de suporte ventilatório

❖ Internações em UTI inclui internações com uso de VMI\* fora da UTI

\*VMI = Ventilação Mecânica Invasiva

# Estimativa da necessidade de recursos

## ❖ Exemplo numérico da estimativa de internação em UTI

Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

Percentual de internação			15%																
Dia	Novos casos	Internações	06/mar	07/mar	08/mar	09/mar	10/mar	11/mar	12/mar	13/mar	14/mar	15/mar	16/mar	17/mar	18/mar	19/mar	20/mar	21/mar	22/mar
06/mar	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2								
07/mar	20	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3							
08/mar	30	5			5	5	5	5	5	5	5	5	5						
09/mar	10	2				2	2	2	2	2	2	2	2	2					
10/mar	15	2					2	2	2	2	2	2	2	2	2				
11/mar	18	3						3	3	3	3	3	3	3	3	3			
12/mar	30	5							5	5	5	5	5	5	5	5	5		
13/mar	50	8								8	8	8	8	8	8	8	8	8	
14/mar	30	5									5	5	5	5	5	5	5	5	5
15/mar	20	3										3	3	3	3	3	3	3	3
Soma do número de internações			2	5	10	12	14	17	22	30	35	36							
												Número internações reais em 15/03		36					

# Modelos de localização de instalações

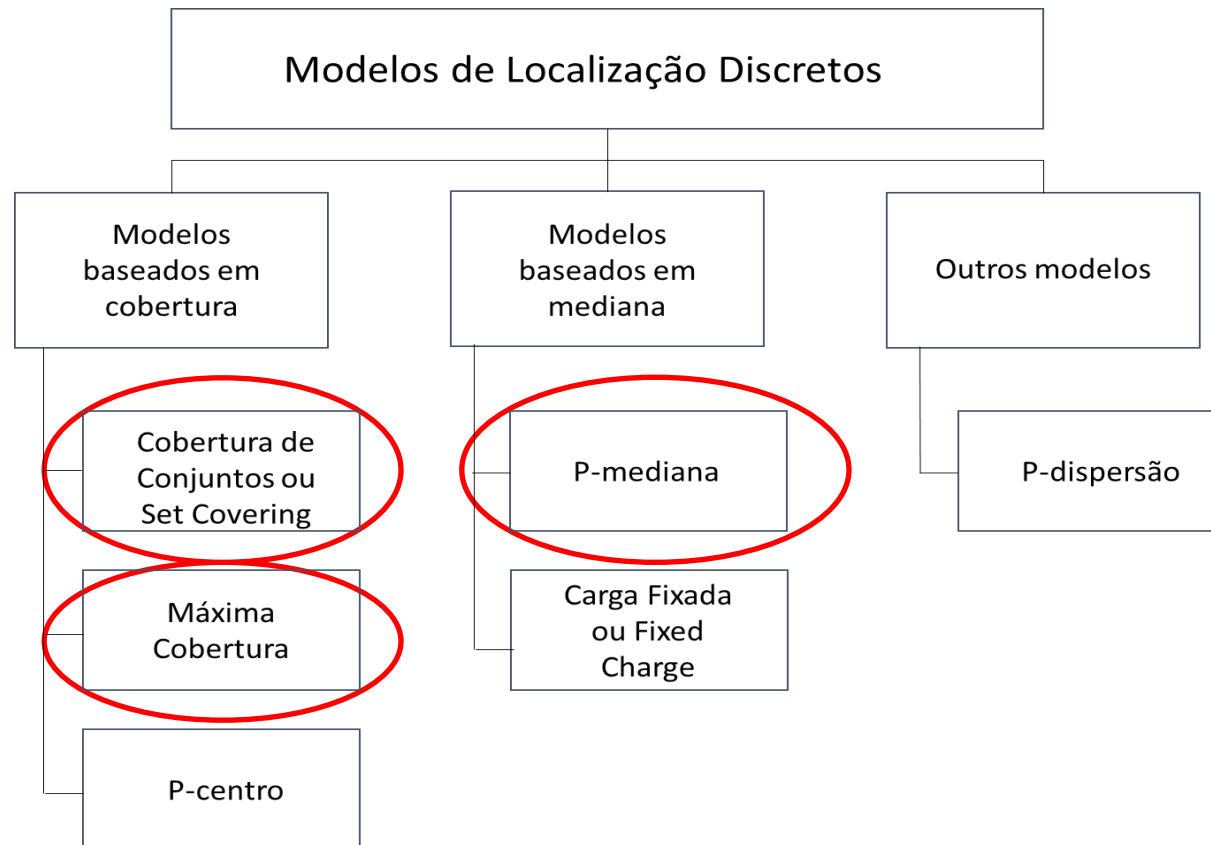
Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados



Fonte: Adaptado de Daskin (2008)

# Modelos de localização de instalações

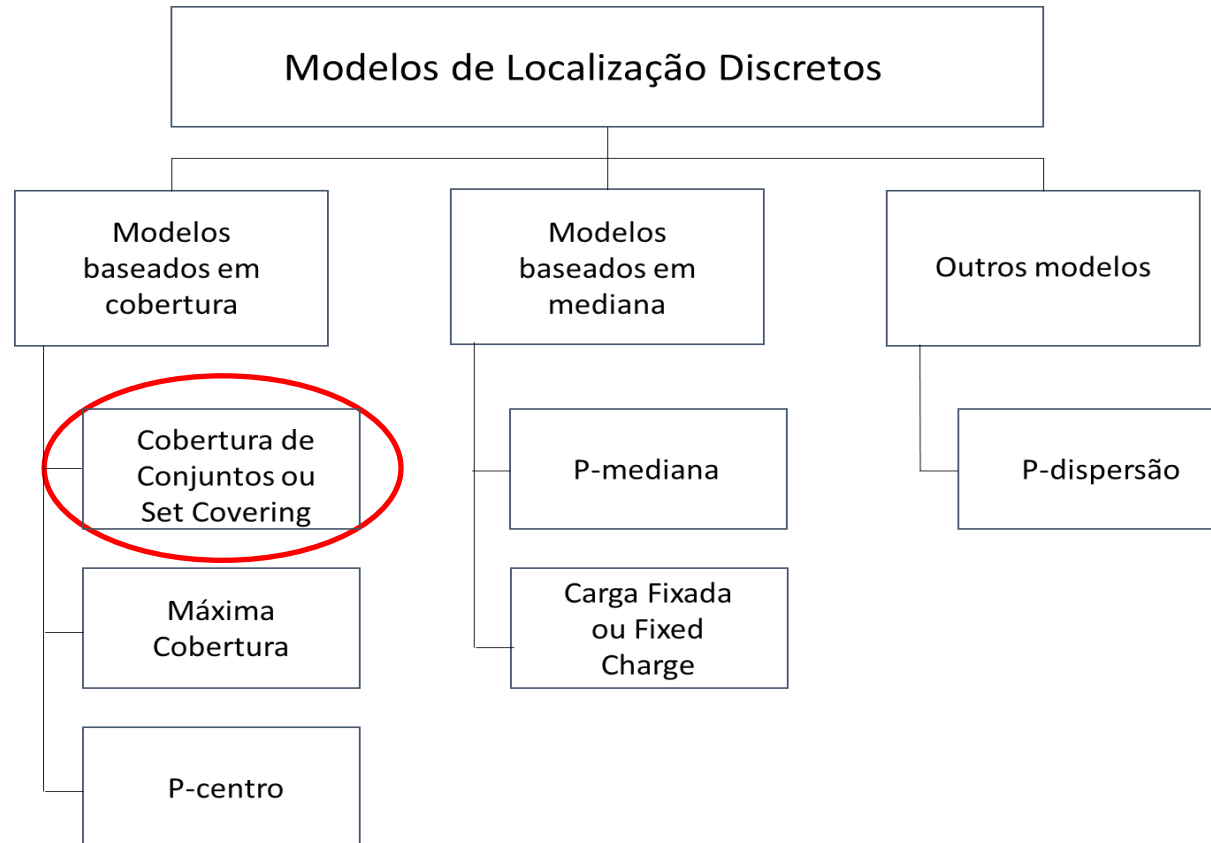
Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados



# Modelo matemático

## Função objetivo

$$\text{Minimizar} \quad \left( \sum_c \sum_t \sum_{ll} \sum_l X_{l,ll,t,r} \text{Distancia}_{l,ll} \right) \\ + W \cdot \sum_h \sum_t \sum_l \text{Custo\_Hospital}_h Y_{l,t,h}$$

## Sujeito a

$$\sum_{ll} X_{l,ll,t,r} \geq \text{Demanda}_{l,t,r} \quad \forall l \in L, \forall t \in T, \forall r \in R$$

$$\sum_l X_{l,ll,t,r} \leq \sum_h \text{Capacidade}_{Adicional_{h,r}} Y_{l,t,h} \mid ll \text{ in } \text{Municipios}_{t,h} \\ \forall ll \in L, \forall t \in T, \forall r \in R$$

$$Y_{l,t,h} = \sum_{tt \mid tt \leq t} Y_{ll} \mid ll \text{ in } \text{Municipios}_{t,h} \quad \forall ll \in L, \forall t \in T, \forall r \in R$$

❖ Na formulação matemática considerou-se as seguintes premissas:

- Não há capacidade inicial
- Há a possibilidade de pacientes oriundos do mesmo município receberem tratamento em locais diferentes
- Somente 20% dos municípios com o maior número de casos novos seriam opções de localização dos hospitais de campanha

Análise descritiva e estatística do problema

Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

# Caso Base

Análise descritiva e estatística do problema

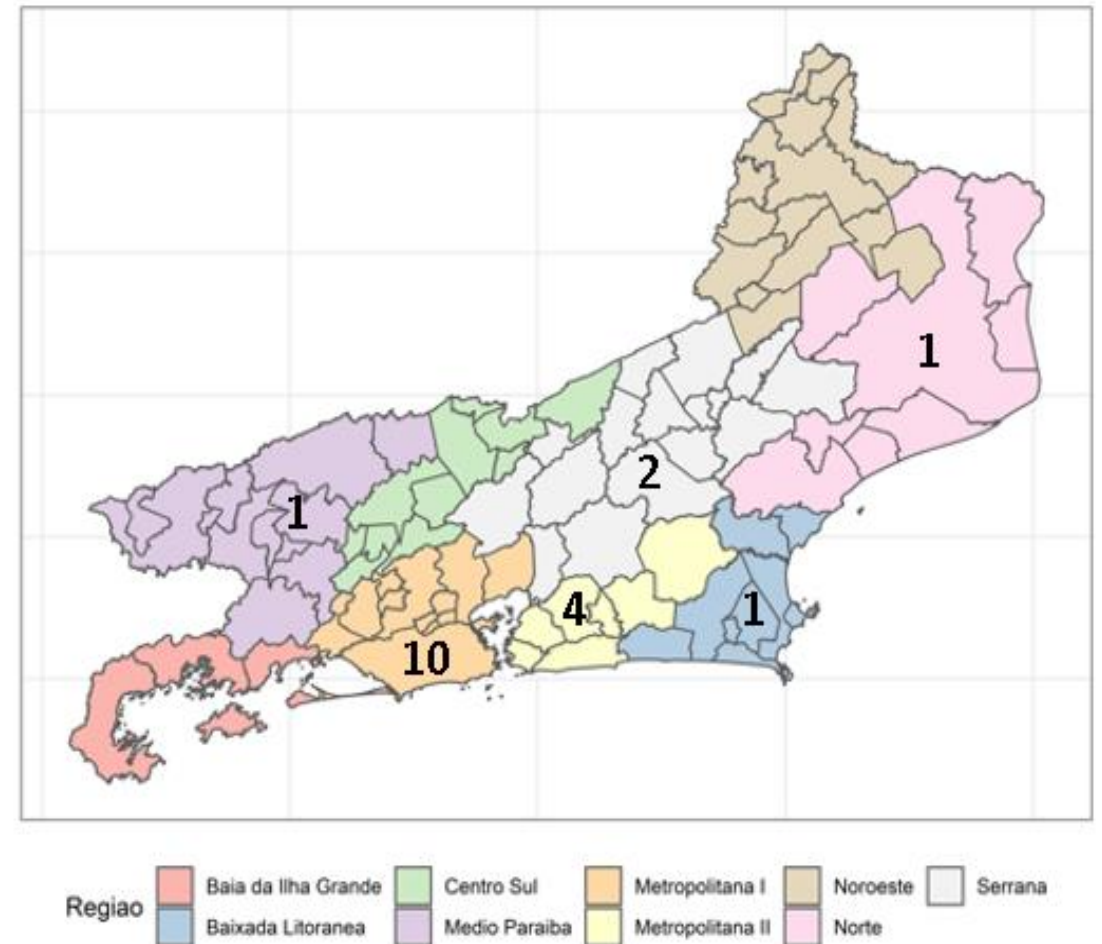
Previsão de casos de COVID-19

Estimativa de recursos

Modelagem matemática

Resultados

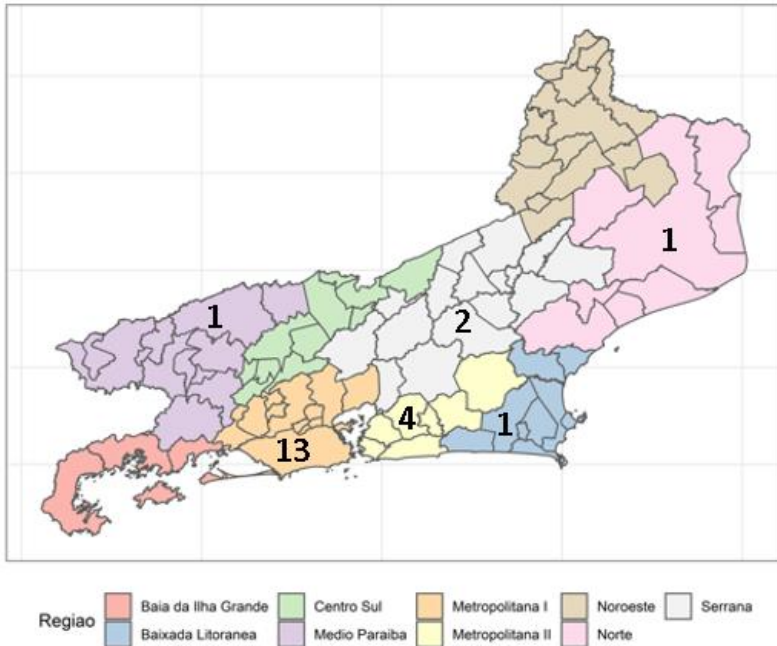
- ❖ 19 Hospitais
- ❖ 6 Regiões de Saúde
- ❖ 15 Municípios



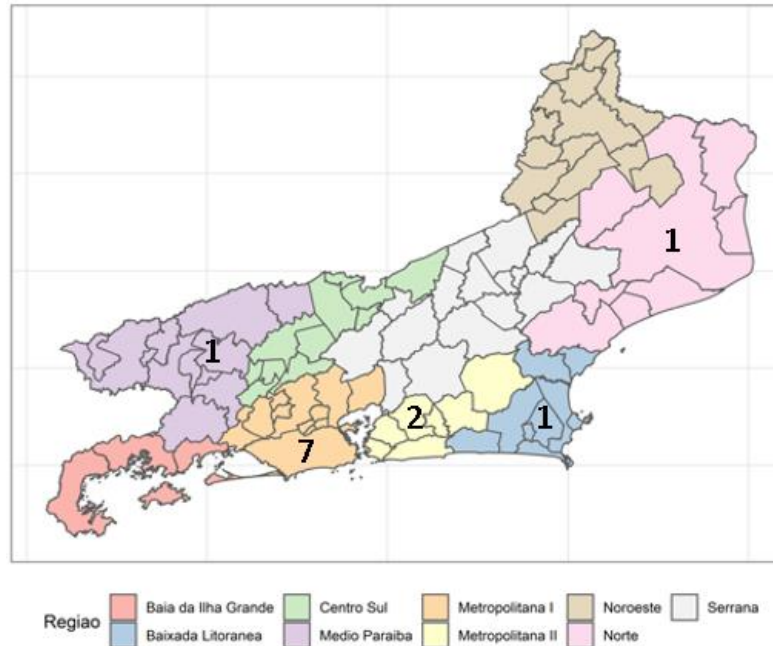


# Resultados

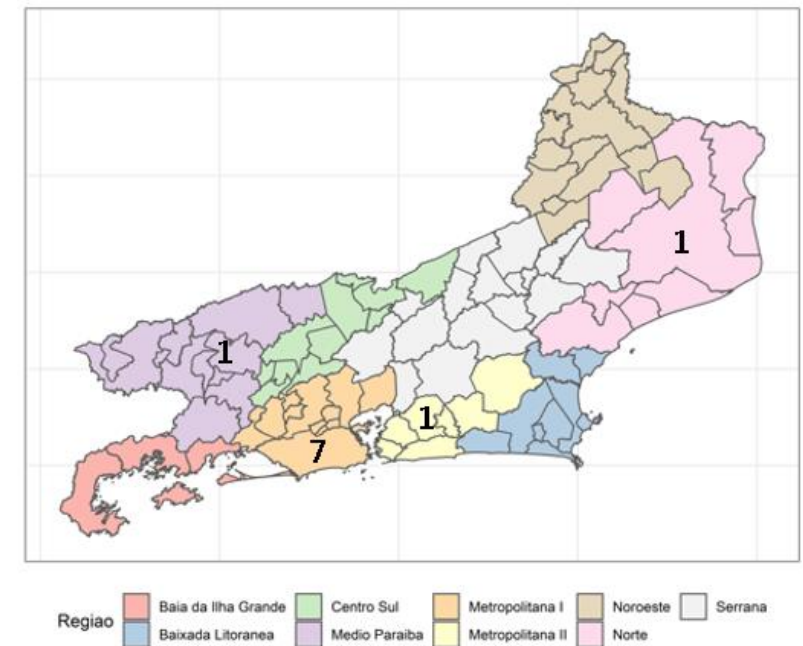
Caso 1



Caso 2



Caso 3



- ❖ 22 Hospitais
- ❖ 6 Regiões de Saúde
- ❖ 18 Municípios

- ❖ 12 Hospitais
- ❖ 5 Regiões de Saúde
- ❖ 8 Municípios

- ❖ 10 Hospitais
- ❖ 5 Regiões de Saúde
- ❖ 6 Municípios

# Comparação entre os cenários propostos

Caso	Total de Hospitais	Total de Regiões de Saúde	Total de Municípios	Distância Total (Km)	Custo de Instalação Total (R\$ 1.000,00)
Base	19	6	15	224.389	23.879,00
#1	22	6	18	206.724	28.058,00
#2	12	5	8	408.266	14.925,00
#3	10	4	6	574.346	12.537,00

- ❖ Caso base apresenta equivalência entre a distância percorrida e o custo de instalação
  - ❖ Caso 1 obteve a menor distância total.
  - ❖ Os casos 2 e 3 objetivaram reduzir o custo de implantação dos hospitais
- Destaca-se que quanto menor o custo, maior será o deslocamento dos pacientes e menos regiões de saúde hospedarão hospitais.

# Hospitais de campanha implementados no Estado do Rio de Janeiro

## ❖ Leitos abertos no Estado até o final de maio


Região de Saúde	Município	Hospital de Campanha	Leitos de UTI	Leitos de Enfermaria
Baia da Ilha Grande	Angra dos Reis	HOSPITALDE CAMPANHA CENTRO DE REFERÊNCIA COVID 19	40	80
Médio Paraíba	Barra Mansa	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 UPA LESTE	4	12
Médio Paraíba	Volta Redonda	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 SMS VR	0	114
Metropolitana I	Rio de Janeiro	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 LEBLON	100	100
Metropolitana I	Rio de Janeiro	SMS HOSPITAL MUNICIPALDE CAMPANHA DO RIO CENTRO COVID 19	100	400
Metropolitana I	Rio de Janeiro	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 MARACANA	22	40
Metropolitana I	Rio de Janeiro	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 PARQUE DOS ATLETAS	100	100
Metropolitana I	Queimados	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 QUEIMADOS RJ	10	10
Metropolitana II	São Gonçalo	HOSPITALDE CAMPANHA COVID 19 SAO GONCALO	40	60
Norte	Carapebus	HOSPITALDE CAMPANHA DO MUNICIPIO DE CARAPEBUS	0	20
Norte	Quissamã	HOSPITALDE CAMPANHA DO MUNICIPIO DE QUISSAMA	10	1
Total			426	937

# Internações em UTI no Estado do RJ

❖ Comparação das internações de SRAG em UTI por região de saúde

Região de Saúde	Leitos em Hospitais de Campanha	Oferta de leitos de UTI proposta				Máximo de internações SRAG em UTI
		Caso Base (19 Hosp.)	Caso 1 (22 Hosp.)	Caso 2 (12 Hosp.)	Caso 3 (10 Hosp.)	
Baia da Ilha Grande	40	0	0	0	0	1
Baixada Litorânea	0	9	9	10	0	33
Centro-Sul	0	0	0	0	0	8
Médio Paraíba	4	16	16	16	16	11
Metropolitana I	332	322	322	321	341	254
Metropolitana II	40	42	42	52	40	67
Noroeste	0	0	0	0	0	3
Norte	10	4	4	4	6	21
Serrana	0	10	10	0	0	26
Total	426	403	403	403	403	424

## Comparação das distâncias percorridas por pacientes com demanda de internações

	Internações em UTI	Distância (Km)	Atendimento na mesma região de saúde		Atendimento no mesmo município	
			Total	%	Total	%
Observado	424	4202	400	94%	99	23%
Caso Base	403	1392	392	97%	359	89%
 Caso 1	403	1285	392	97%	377	94%
Caso 2	403	2586	381	95%	320	79%
Caso 3	403	3605	357	89%	307	76%

# Internações em enfermaria no Estado do RJ

❖ Comparação das internações de SRAG em enfermaria por região de saúde

Região de Saúde	Leitos em Hospitais de Campanha	Oferta de leitos de enfermaria proposta				Máximo de internações SRAG em enfermaria
		Caso Base (19 Hosp.)	Caso 1 (22 Hosp.)	Caso 2 (12 Hosp.)	Caso 3 (10 Hosp.)	
Baía da Ilha Grande	80	0	0	0	0	10
Baixada Litorânea	0	34	34	37	0	100
Centro-Sul	0	0	0	0	0	16
Médio Paraíba	126	61	61	63	93	46
Metropolitana I	650	1116	1122	1115	1130	1315
Metropolitana II	60	156	150	187	160	262
Noroeste	0	0	0	0	0	18
Norte	21	18	18	18	37	92
Serrana	0	35	35	0	0	56
Total	937	1420	1420	1420	1420	1915



# Considerações Finais

- ❖ Modelo de localização para hospitais de campanha no Estado do Rio de Janeiro
  - Projetou-se o total de casos de COVID-19 para a região estudada.
  - Estimou-se a demanda de internações e necessidade de uso de VMI;
  - Dimensionou-se a quantidade de leitos de UTI, leitos de enfermaria e respiradores
- ❖ **23% dos pacientes foram atendidos no município em que residem** enquanto o cenário proposto, com o intuito de minimizar o deslocamento da demanda, **oferecia atendimento em seu próprio município para 94% dos pacientes.**
- ❖ Os hospitais de campanha propostos atuariam como referência para esse perfil de paciente, não sendo necessário interromper atendimentos eletivos nos hospitais públicos existentes e evitando o estresse do sistema de saúde.

# Considerações Finais

## ❖ Sugere-se como trabalhos futuros:

- Estender a pesquisa para um período maior que o analisado
- Considerar a subnotificação na projeção dos casos de COVID-19
- Aplicar outros modelos de previsão de séries temporais
- Elaborar variações no modelo matemático
  - Incluir restrições de orçamento
  - Considerar outros perfis de hospitais com diferentes portes e custos
  - Pressupor diferentes objetivos

# Referências

- AHMADI-JAVID, A.; SEYEDI, P.; SYAM, S. S. A survey of healthcare facility location. **Computers and Operations Research**, v. 79, p. 223–263, 2017.
- AMIB. **COMUNICADO DA AMIB SOBRE O AVANÇO DO COVID-19 E A NECESSIDADE DE LEITOS EM UTIS NO FUTURO**. Disponível em: <<http://www.somiti.org.br/arquivos/site/comunicacao/noticias/2020/covid-19/comunicado-da-amib-sobre-o-avanco-do-covid-19-e-a-necessidade-de-leitos-em-utis-no-futuro.pdf>>. Acesso em: 3 maio. 2020.
- ANDERSON, R. M. et al. How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? **The Lancet**, v. 395, n. 10228, p. 931–934, 2020.
- BURK, T. K. Coronavirus in China. **The Lancet**, n. January, 2020.
- CRODA, J. et al. Covid-19 in Brazil: Advantages of a socialized unified health system and preparation to contain cases. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 53, n. April, p. 2–7, 2020.
- GÜNEŞ, Evrim Didem; MELO, Teresa; NICKEL, Stefan. Location problems in healthcare. In: **Location science**. Springer, Cham, 2019. p. 657–686.
- HAASE, K.; MÜLLER, S. Insights into clients’ choice in preventive health care facility location planning. **OR Spectrum**, v. 37, n. 1, p. 273–291, 2015.
- HARAPAN, H. et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. **Journal of Infection and Public Health**, v. 13, n. 5, p. 667–673, 2020.
- OLIVEIRA, W. K. DE et al. How Brazil can hold back COVID-19. **Epidemiologia e serviços de saúde : revista do Sistema Único de Saúde do Brasil**, v. 29, n. 2, p. e2020044, 2020.
- OMS. **Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 66**, 2020.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 111, n. 3, p. 423–447, 1998.



Obrigada!