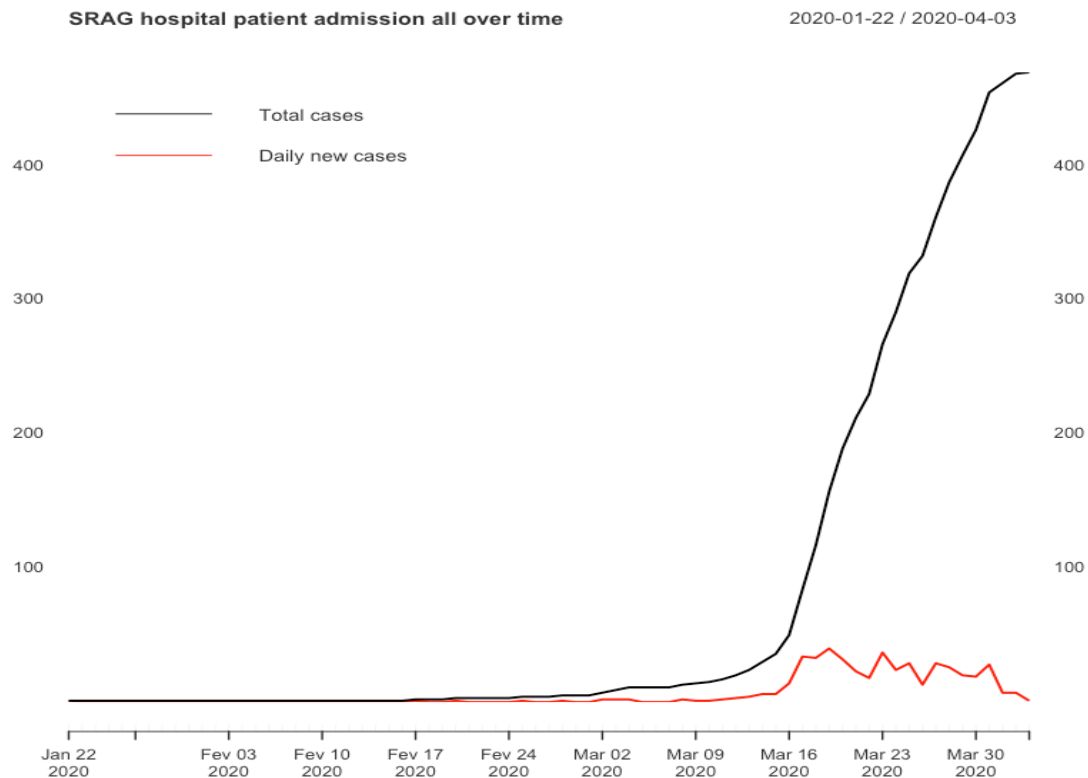


Previsão da evolução dos casos de síndrome respiratória aguda grave (SRAG) e da ocupação hospitalar na rede pública (SUS) no município do Rio de Janeiro para o período de 01/abril a 21/abril

O LEGOS trata o problema de prever a evolução do total de internações de pacientes com síndrome respiratória aguda grave (SRAG) na rede pública (SUS) no município do Rio de Janeiro. Para chegar aos resultados que serão apresentados a seguir utilizamos uma base de dados entregue pela Secretaria Municipal de Saúde (SMS). A série histórica de internações por SRAG em hospitais do SUS é apresentada abaixo.

Data	Casos confirmados	Data	Casos confirmados
16/02/2020 ¹	1	11/03/2020	17
17/02/2020	2	12/03/2020	20
18/02/2020	2	13/03/2020	24
19/02/2020	2	14/03/2020	30
20/02/2020	3	15/03/2020	36
21/02/2020	3	16/03/2020	50
22/02/2020	3	17/03/2020	84
23/02/2020	3	18/03/2020	117
24/02/2020	3	19/03/2020	157
25/02/2020	4	20/03/2020	189
26/02/2020	4	21/03/2020	212
27/02/2020	4	22/03/2020	230
28/02/2020	5	23/03/2020	267
29/02/2020	5	24/03/2020	291
01/03/2020	5	25/03/2020	320
02/03/2020	7	26/03/2020	333
03/03/2020	9	27/03/2020	362
04/03/2020	11	28/03/2020	388
05/03/2020	11	29/03/2020	408
06/03/2020	11	30/03/2020	427
07/03/2020	11	31/03/2020	455
08/03/2020	13	01/04/2020	462
09/03/2020	14	02/04/2020	469
10/03/2020	15	03/04/2020	470

¹ A série histórica inicia dia 22/01 com a internação de um paciente. Entretanto, apenas dia 17/02 houve a segunda internação. Assim, decidimos colocar como primeira data o dia anterior (16/02).



Observando as figuras acima podemos perceber que no município do Rio de Janeiro segue comportamento não linear. Entretanto, se separarmos este gráfico em 4 momentos diferentes podemos observar que:

1. Dia 22/01 ao 01/03 a quantidade total de internações não ultrapassa 5 pacientes
2. Dia 02/03 ao 09/03 há um platô por 4 dias (04/03 até 07/03) com média de 1 internação por dia.
3. Dia 10/03 até 31/03 a quantidade total de internações cresce abruptamente e depois segue um "comportamento linear".
4. Dia 01/04 até 03/04 a quantidade total de internações cresce menos que o período anterior, mas é causado pela demora de suas notificações por parte das unidades de saúde.

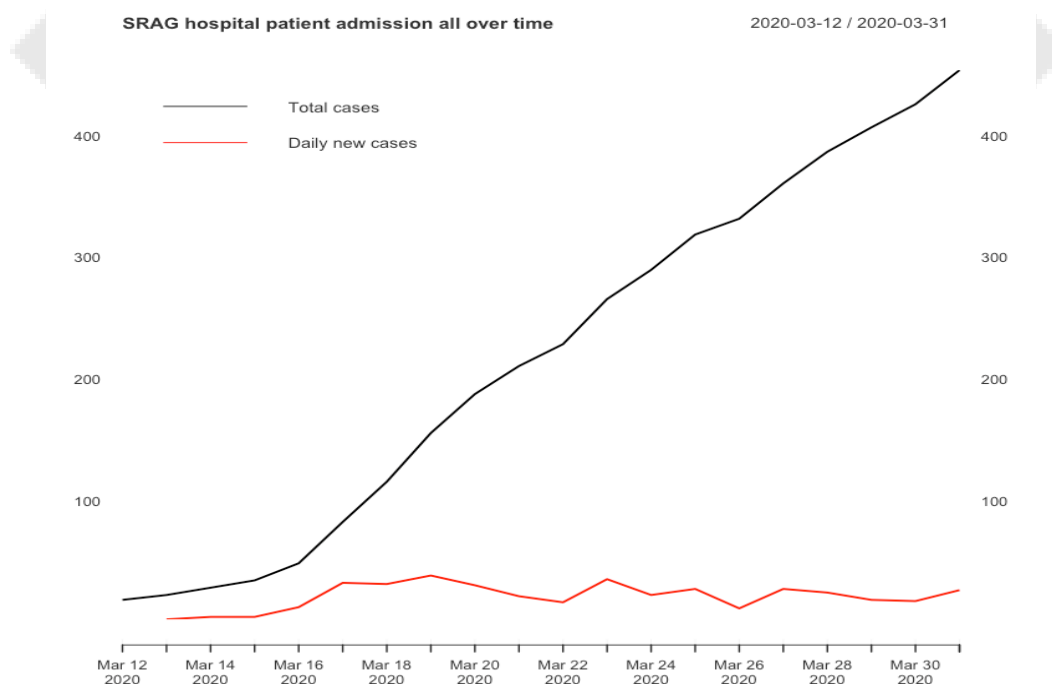
Assim, para reproduzirmos o comportamento esperado para a próxima semana consideraremos que a base histórica útil à nossa série se inicia no dia 10/03 (quando o total de internações chega a 15 pacientes) e termina dia 31/03.

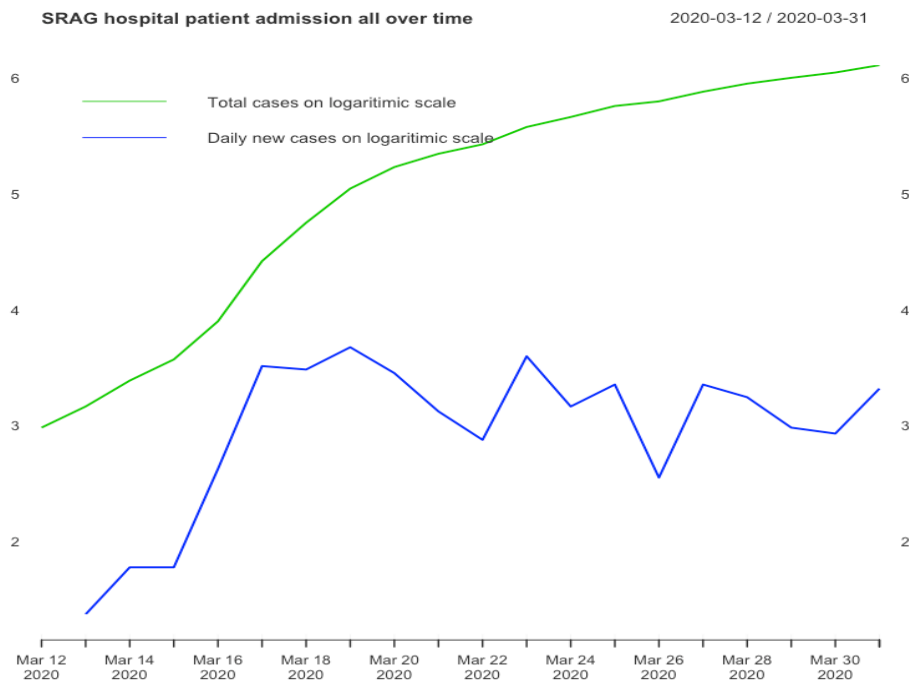
Modelos de previsão

Para estimarmos o total de internações por SRAG na rede pública municipal no horizonte de 7, 14 e 21 dias a frente (até 21/04) utilizamos modelos univariados consagrados da literatura e regressões apresentados abaixo:

- 1) Modelos de suavização exponencial (ETS);
- 2) Modelos auto regressivos integrados de média móvel (ARIMA);
- 3) Regressão Linear (RL);

Nenhum dos 3 modelos apresentados acima foi concebido para tratar de séries temporais de comportamento explosivo (como é o nosso caso). Entretanto, podemos realizar algumas transformações na série original apresentada para que a série transformada atenda às condições de "contorno" das técnicas apresentadas acima. Neste sentido, as principais formas comumente utilizadas em séries temporais são: diferenciação (neste caso, a série de internações por dia) e transformação logarítmica (elas também podem ser combinadas). Nas figuras abaixo são apresentadas a série original e cada série transformada (logarítmica, diferenciada e logarítmica-diferenciada) de casos confirmados no Município do Rio de Janeiro.





Como o objetivo de trabalhar sobre a série mais estacionária possível (ainda que com

tendência) trabalharemos sobre as duas séries que melhor apresentam este comportamento. A partir deste ponto chamaremos as séries escolhidas para prever o total de casos confirmados de série original (SO) e a série em escala logarítmica (SL) e apresentaremos abaixo características observadas de cada modelos e cada série.

- 1) ETS na série original (ETS SO): capturou o padrão de crescimento linear;
- 2) ETS na série em escala logarítmica (ETS SL): capturou o padrão de crescimento explosivo;
- 3) ARIMA na série original (ARIMA SO): capturou o padrão de crescimento linear;
- 4) ARIMA na série em escala logarítmica (ARIMA SL): capturou o padrão de crescimento explosivo;
- 5) Regressão linear na série em escala logarítmica (RL SO): capturou o padrão de crescimento linear;
- 6) Regressão linear na série em escala logarítmica (RL SL): capturou o padrão de crescimento explosivo;

Cada modelo apresentado acima terá um conjunto de parâmetros que podem levar a previsões bastante distintas e avaliar qual seria o melhor modelo apenas pelo menor erro de acordo com a ser critério escolhido pode nos levar a uma baixa assertividade na previsão. Com objetivo de dirimir deste risco, fizemos primeiramente a avaliação dos resíduos do modelo de cada modelo apresentado acima seguindo as seguintes questões:

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E GESTÃO EM SAÚDE

www.legos.uerj.br | Contato: legos@eng.uerj.br

Acompanhe o LEGOS também no

Instagram @legos.uerj | Facebook @legosaude | LinkedIn legos-uerj

- 1) Média igual a 0 pelo teste de Student;
- 2) Segue uma distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk;
- 3) É independente e identicamente distribuído (não existe auto correlação estatisticamente significativa) pelo teste de Ljung-Box;
- 4) É homocedástico (a variância se mantém constante ao longo do tempo) pelo teste de heteroscedasticidade condicional auto-regressiva (ARCH).

A resposta de cada uma destas perguntas para cada modelo é apresentada na tabela abaixo. Para fins de simplificação nela colocamos apenas os p-valores encontrados. O nível de significância escolhido foi de 0,01, ou seja, trabalhamos com um intervalo de confiança de 99%.

Teste estatístico	ETS SO	ARIMA SO	RL SO	ETS SL	ARIMA SL	RL SL
Student	0,68	0,77	1	0,73	0,74	1
Shapiro-Wilk	0,85	0,67	0,34	0,36	0,38	0,06
Ljung-Box	0,55	0,68	>0,01	0,98	0,83	>0,01
ARCH	>0,01	0,15	0,04	>0,01	<0,01	>0,01

A tabela acima indica que apenas 2 modelos não deveriam ser rejeitados ao nível de significância de 0,01: ARIMA SO (modelo com crescimento linear) e ARIMA SL (modelo com crescimento exponencial).

Os resultados de acurácia (precisão) olhando para a série histórica de todos modelos é apresentado na tabela abaixo. Nela, podemos observar que os dois modelos elegíveis pelo critério apresentado acima também levam a um menor média percentual absoluta do erro (MAPE) e erro quadrático médio (RMSE).

Modelos	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE
ETS SO	-1,15	12,17	9,78	19,33	24,47
ARIMA SO	-0,61	8,80	6,98	1,78	6,85
RL SO	0,00	14,94	10,56	2,43	30,22
ETS SL	3,32	12,32	9,79	0,31	5,80
ARIMA SL	3,17	12,41	9,82	0,28	5,80
RL SL	11,47	93,37	63,16	-5,51	30,79

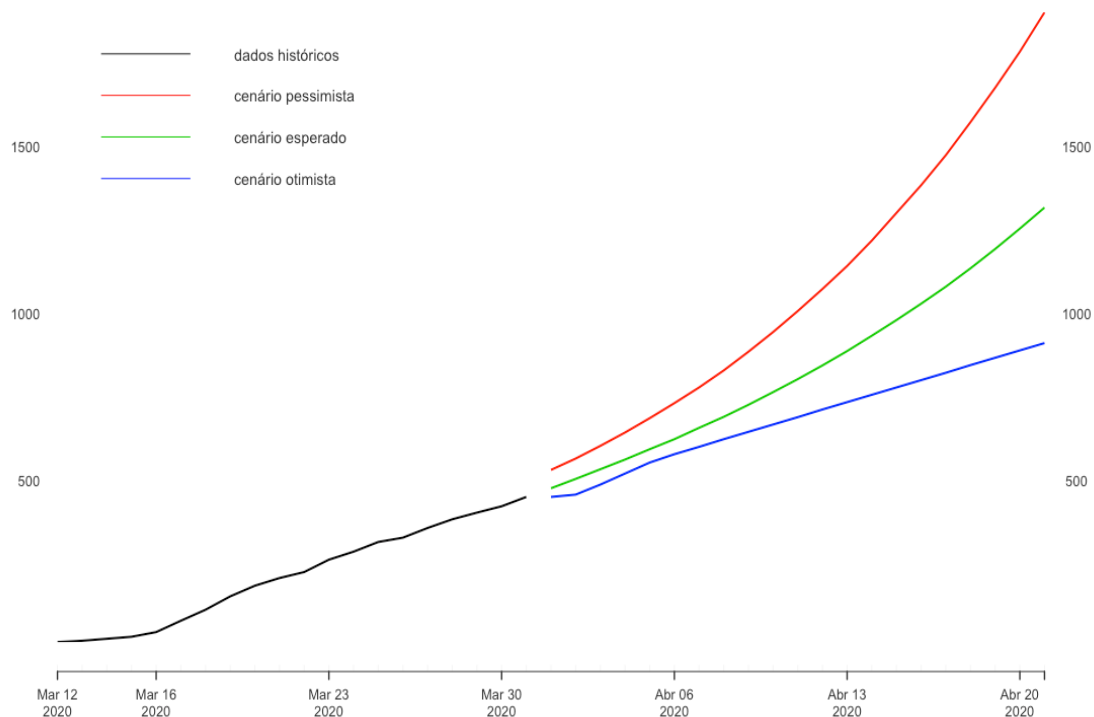
Avaliado o resíduo dos modelos e tendo em conta a acurácia dos seus sinais geramos para cada série selecionada 10.000 trajetórias possíveis. Os percentis escolhidos para definição dos cenários otimista e pessimista foram 0,1 e 0,9 respectivamente e o resultado destas previsões por cenário e por modelo é sintetizado na tabela abaixo.

Previsões	ARIMA SO			ARIMA SL		
Dia	Pessimista	Mediano	Otimista	Pessimista	Mediano	Otimista
01/04/2020	492	481	469	535	482	455
02/04/2020	516	505	493	572	514	464
03/04/2020	539	528	516	607	547	491
04/04/2020	562	550	539	649	584	525
05/04/2020	584	573	561	690	620	559
06/04/2020	606	595	583	735	662	596
07/04/2020	629	617	605	785	705	635
08/04/2020	651	639	628	835	752	676
09/04/2020	673	662	650	890	802	718
10/04/2020	695	684	672	948	855	769
11/04/2020	717	706	694	1015	910	816
12/04/2020	739	728	716	1079	967	872
13/04/2020	762	750	739	1150	1032	928
14/04/2020	784	773	761	1223	1101	990
15/04/2020	806	795	783	1305	1172	1055
16/04/2020	828	817	805	1386	1250	1124
17/04/2020	850	839	827	1479	1329	1199
18/04/2020	873	861	850	1576	1420	1276
19/04/2020	895	883	872	1683	1511	1360
20/04/2020	917	906	894	1787	1611	1447
21/04/2020	939	928	916	1908	1719	1547

A combinação dos dois modelos a cada dia o menor valor para o cenário otimista, a média entre os dois modelos para o cenário esperado e o maior valor para o cenário pessimista pode ser observada no gráfico abaixo.

Estimativa do Município do Rio de Janeiro internações por SRAG no SUS

2020-03-12 / 2020-04-21



O objetivo dos modelos utilizados foi estimar com a maior precisão possível o total internações por SRAG em leitos SUS em um horizonte de tempo de 21 dias e, com base nos critérios apresentados, concluímos que a combinação dos modelos lineares e exponenciais se mostrou mais adequada.

Não é possível, no entanto, extrapolar este método para um período maior de tempo e nem mesmo concluir, a partir de seus resultados, em que estágio o município está na curva esperada de uma epidemia. Estudos com estes objetivos necessitam de abordagens mais complexas e também são conduzidas dentro do LEGOS.

Previsão de ocupação hospitalar

Com base na previsão anterior para cada cenário o objetivo desta etapa é estimar a quantidade de leitos que deverão ser ocupados caso a previsão acima se confirme.

Como a nossa previsão se deu sobre o total de casos tivemos de fazer a diferença do valor acumulado do dia contra o valor do dia anterior, em outras palavras, contabilizamos apenas as novas internações previstas apresentadas por cenário na tabela abaixo.

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E GESTÃO EM SAÚDE

www.legos.uerj.br | Contato: legos@eng.uerj.br

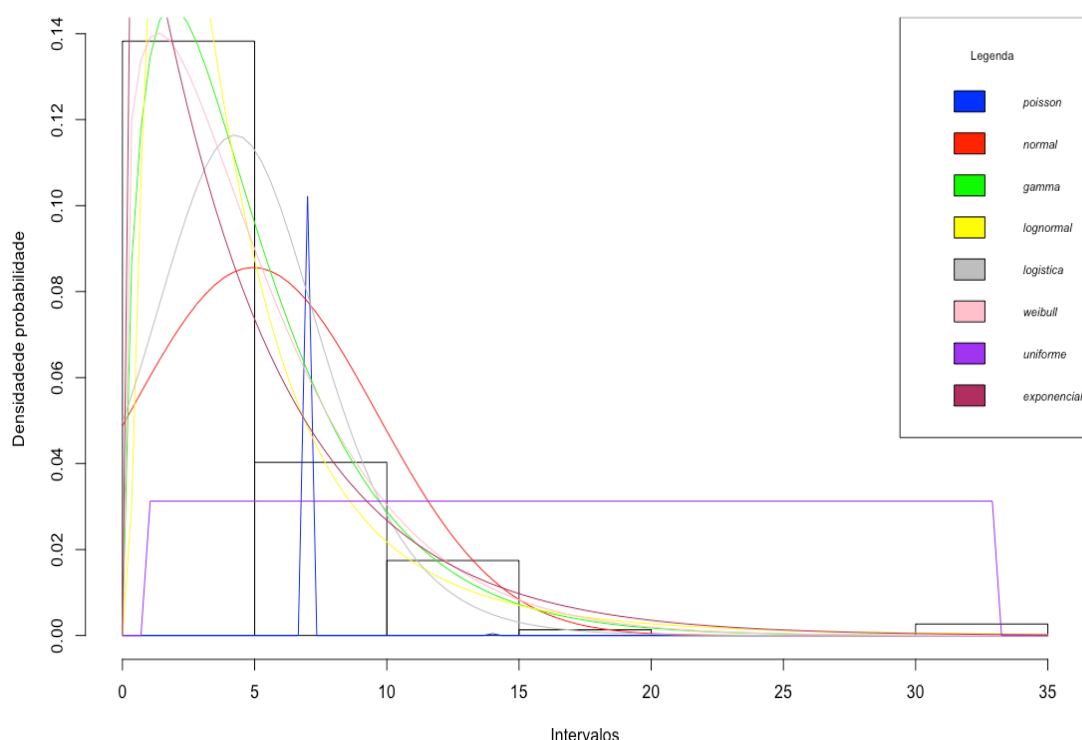
Acompanhe o LEGOS também no

Instagram @legos.uerj | Facebook @legosaude | LinkedIn legos-uerj

Dias	Cenário pessimista	Cenário esperado	Cenário otimista
01/04/2020	81	26	0
02/04/2020	34	28	7
03/04/2020	38	29	30
04/04/2020	40	29	33
05/04/2020	43	31	33
06/04/2020	45	30	25
07/04/2020	47	34	22
08/04/2020	51	33	23
09/04/2020	56	36	22
10/04/2020	59	38	22
11/04/2020	63	39	22
12/04/2020	66	41	23
13/04/2020	69	43	22
14/04/2020	76	46	22
15/04/2020	83	47	22
16/04/2020	83	49	22
17/04/2020	90	51	22
18/04/2020	99	55	23
19/04/2020	103	58	22
20/04/2020	108	61	22
21/04/2020	118	63	22

Os tempos de internação observados são apresentados no histograma abaixo. Foram excluídos apenas um *outliers* como 0 e 209 dias. Ao invés da frequência observada contar o total de casos trabalhamos com a densidade de probabilidade para observar qual distribuição de probabilidade melhor se adequa aos valores observados.

Histograma vs distribuições de probabilidade

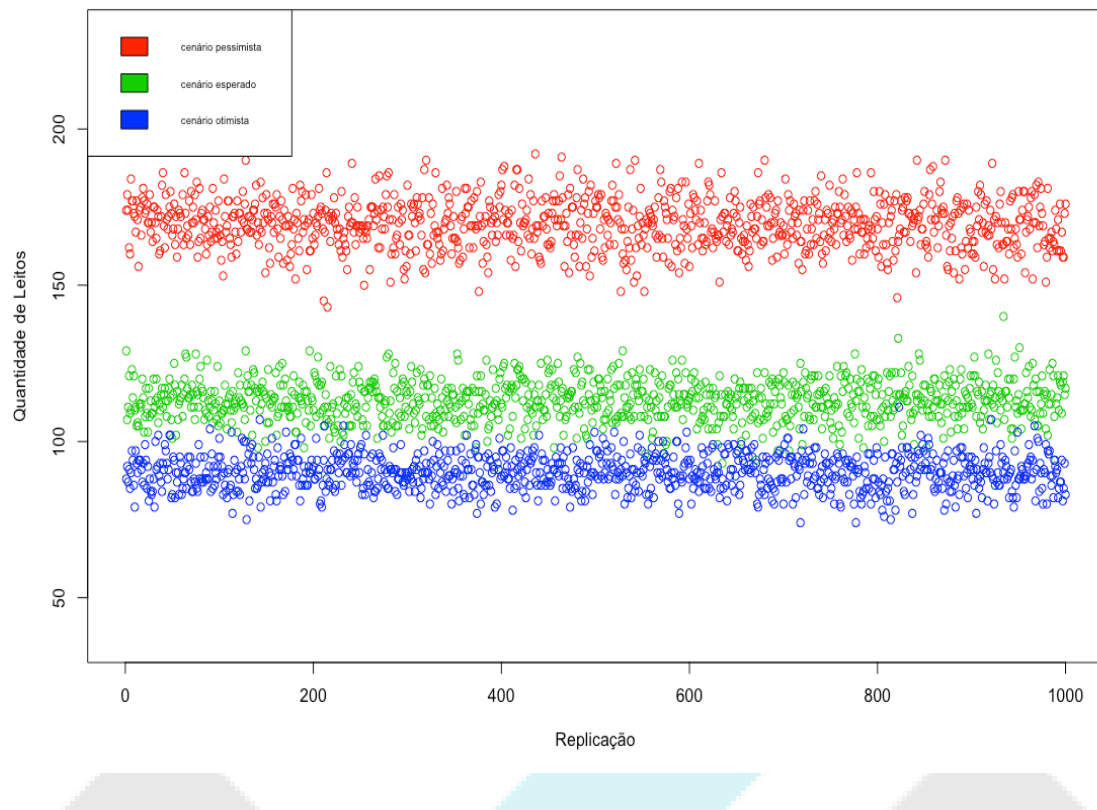


Ao nível de significância de 0,05 apenas são elegíveis as distribuições de probabilidade exponencial (p-valor de 0,745 com *rate* de 0,20) e weibull (p-valor de 0,053 com *shape* e *scale* de 1,23 e 5,33 respectivamente). O tempo médio de internação encontrado foi de 4,95 com desvio padrão de 4,67 dias. Cabe ressaltar que a ambas as curvas encontradas convergem com o que pesquisadores concluíram sobre o tempo de internação em na China e na Itália.

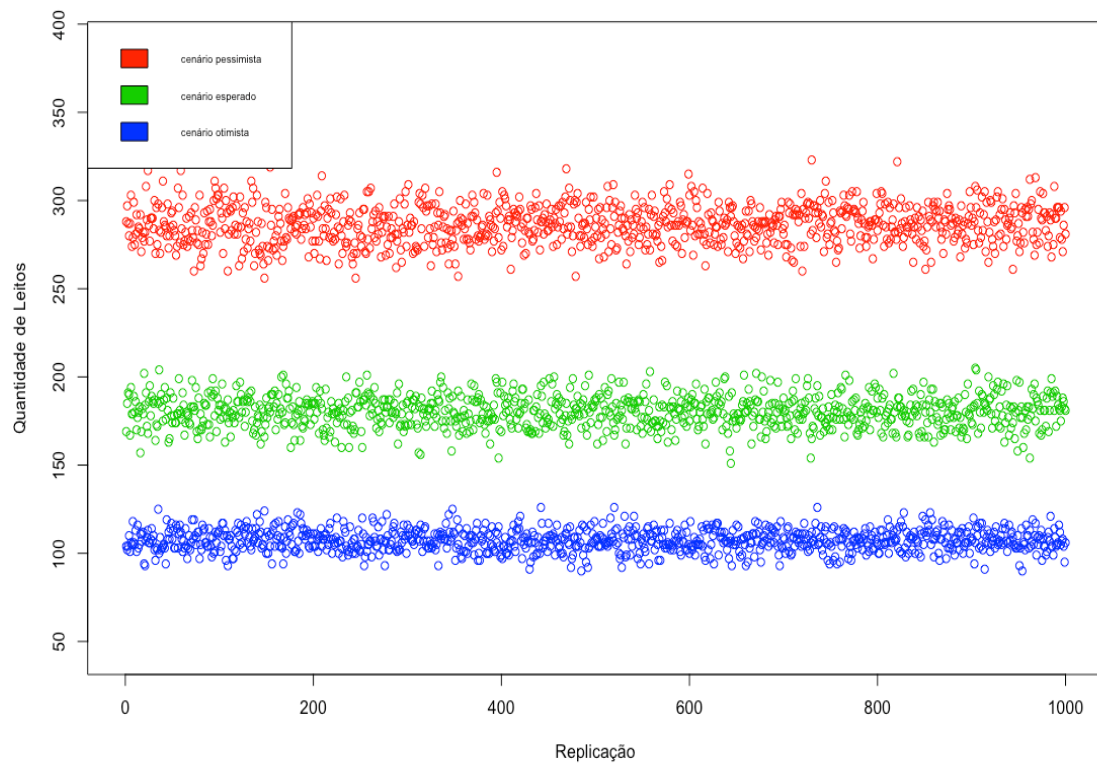
Assim, executando 1000 replicações sobre os valores de cada cenário apresentado na tabela acima chegamos aos resultados apresentados na tabela e figuras abaixo onde nos interessam, em cada horizonte de tempo: o menor valor previsto no cenário otimista, o valor médio previsto no cenário esperado, o maior valor previsto no cenário pessimista.

Horizonte de tempo	Cenário pessimista	Cenário esperado	Cenário otimista
7 dias (08/04)	192	114	74
14 dias (15/04)	323	181	90
21 dias (21/04)	502	258	94

Quantidade de leitos previstos por replicação para a demanda em 7 dias a frente



Quantidade de leitos previstos por replicação para a demanda em 14 dias a frente



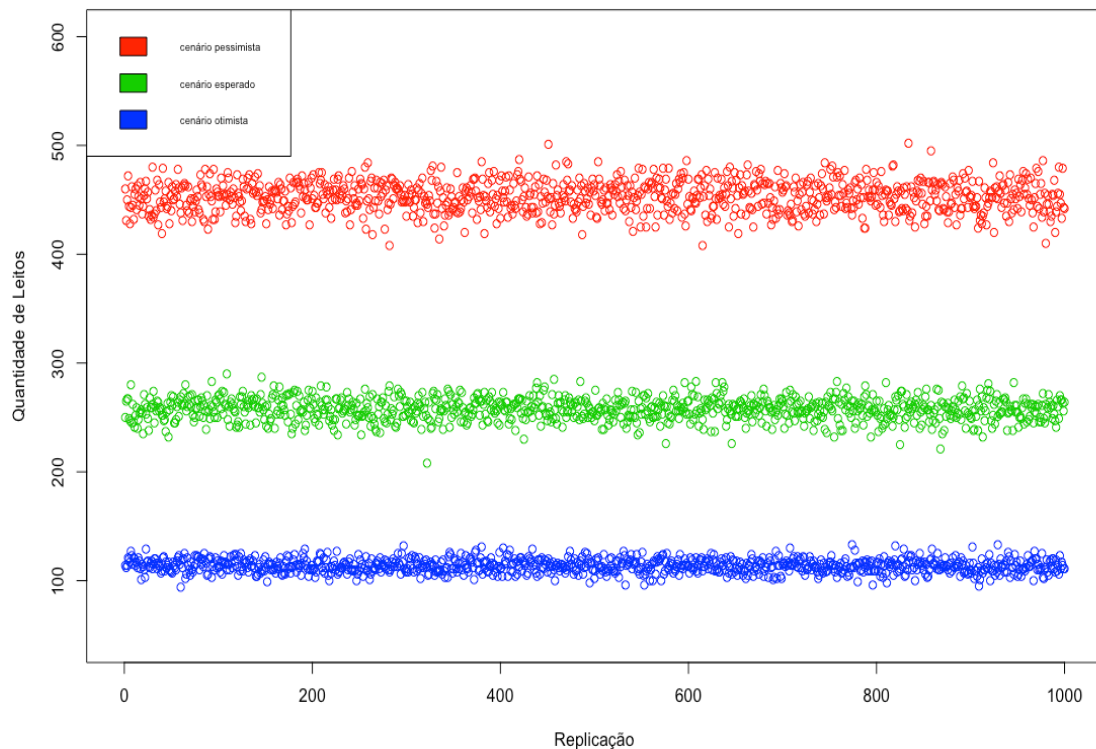
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E GESTÃO EM SAÚDE

www.legos.uerj.br | Contato: legos@eng.uerj.br

Acompanhe o LEGOS também no

Instagram @legos.uerj | Facebook @legosaude | LinkedIn legos-uerj

Quantidade de leitos previstos por replicação para a demanda em 21 dias a frente



Cabe ressaltar que a grande distância entre os resultados observados em cada cenário ocorre:

- 1) Pela mistura de modelos
- 2) Por associar valores de máximo ou mínimo entre ambas as previsões nos cenários otimistas e pessimistas e, no cenário esperado, trabalhar com o valor médio entre as duas previsões.
- 3) Por utilizar percentis muito distantes da mediana nos cenários otimistas e pessimistas

Conclusão

Considerando o ganho de capacidade de leitos cumulativo em etapas onde estão previstos:

- 1) 381 leitos na etapa 1 em um hospital municipal;
- 2) 85 leitos em hospitais e unidades de emergência espalhadas pelo município;
- 3) 500 leitos em um hospital de campanha em montagem atualmente;
- 4) 300 leitos cirúrgicos sendo convertidos para clínicos.

Podemos indicar os seguintes prognósticos por cenário considerando um total de 381 na etapa 1, 466 leitos na etapa 2, 966 leitos na etapa 3 e 1266 leitos na etapa 4.

Horizonte de tempo	Cenário pessimista	Cenário esperado	Cenário otimista
7 dias (08/04)	Atendido na etapa 1	Atendido na etapa 1	Atendido na etapa 1
14 dias (15/04)	Atendido na etapa 1	Atendido na etapa 1	Atendido na etapa 1
21 dias (21/04)	Atendido na etapa 3	Atendido na etapa 1	Atendido na etapa 1

Logo, apenas dia 21/04 no cenário pessimista as duas primeiras etapas previstas serão insuficientes. Sendo, nestas circunstâncias, necessário prover a estrutura necessária para atendimento prevista na etapa 3.

Autor

Daniel Assad

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0258423859812498>

Coordenação do LEGOS|UERJ

Profa Thaís Spiegel, DSc. | thais@eng.uerj.br

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8880192361495671>

Nota técnica divulgada em 6 de abril de 2020.