

Metodologias Experimentais em Informática
2020/2021 - 1.º Semestre

Departamento de Engenharia Informática
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

Trabalho Prático - Meta 2
Inferal data analysis

Maria do Rosário Pereira Cardoso, 2017260537, uc2017260537@student.uc.pt

Maria João Costa, 2017250915, uc2017250915@student.uc.pt

Vitalina Holubenko, 2017255810, uc2017255810@student.uc.pt

Introdução

O objetivo deste trabalho é realizar várias experiências de forma a responder à questão: Como é que diferentes algoritmos de escalonamento afetam a *performance* de sistemas de computadores sob diferentes *workloads*?

De maneira a medir a performance dos algoritmos (SRTF - *Shortest Remaining Time First*, SJF - *Shortest Job First*, RR - *Round Robin* e FCFS - *First Come First Served*) foi usado as seguintes métricas: tempo de espera (soma do tempo passado na *ready queue*), tempo de resposta (tempo que demora a obter o CPU pela primeira vez) e tempo de *turnaround* (tempo entre a submissão e a conclusão de um processo). Com a questão e as métricas em mente foi utilizado a técnica ANOVA, com esta técnica criamos várias hipóteses que nos permitiram estudar o problema apresentado.

Além disso, a técnica ANOVA também foi utilizada de forma a averiguar se existe alguma diferença no quantum utilizado no *Round Robin*.

Configuração Experimental

Para a geração de vários *workloads*, inicialmente foi necessário extrair dados relativos a *workloads* em cenários realistas. Para isto recorremos ao comando *perf* do Linux para a recolha de dados pertinentes ao *arrival time*, número de *cpu bursts*, e os tamanhos dos vários *cpu bursts*. Isto foi repetido para três tipos de carga diferentes, uma carga muito leve, outra média e outra mais pesada. Depois da extração dos dados fez-se um teste para ver qual era o tipo de distribuição que se podia aplicar a cada parâmetro na geração de cada *workload*.

Para além disso, de maneira a obter um maior número de amostras e ser possível obter médias para os diferentes *workloads*, fez-se a geração de cada workload com 13 *seeds* diferentes.

De forma a estudarmos a performance de cada um dos algoritmos e podermos fazer uma comparação entre eles recorreremos ao uso da técnica ANOVA. Dividimos os testes por cenários, sendo que no cenário 1 apenas comparamos os algoritmos gerados com o workload mais leve, no 2 comparamos aqueles gerados com o workload de carga intermédia e no cenário 3 comparamos aqueles que foram gerados com o workload mais pesado. Isto foi feito para cada uma das variáveis que queríamos estudar, isto é, o *turnaround time*, o tempo de espera e o tempo de resposta, uma vez que estas estão diretamente relacionadas com a performance de um algoritmo.

Inicialmente geramos o modelo com o comando *aov* (*aov*(variável_dependente~variável_independente, dados)) que é a função que nos permite analisar a variância. Seguidamente, através do comando *summary* observamos os resultados do teste onde nos focamos no p-value que, caso este fosse maior que o nível de significância de 0.05, então poderíamos aceitar a hipótese em estudo (falaremos mais à frente sobre as hipóteses formuladas). Com o comando *aov* e *summary* também verificamos a independência dos dados adicionando um fator de erro na função (*aov*(variável_dependente~variável_independente+Error(instance), dados)). De seguida, verificamos se os resíduos seguiam uma distribuição normal através do gráfico quantil-quantil (obtido com os comandos *qqnorm* e *qqline*) e ainda o teste de Shapiro-Wilk, onde, caso o p-value fosse menor que 0.05 não se tratava de uma distribuição normal. Após isto também verificamos se as variâncias entre os grupos eram homogêneas através do teste de Bartlett (através do comando *bartlett.test*), onde mais uma vez verificamos se o *p-value* não era menor que 0.05. Um dos problemas que tivemos foi o facto de alguns dos nossos dados não passarem nos testes de Shapiro, Bartlett e na independência dos dados e, por isso, foi também feito o teste de Kruskal com o comando *kruskal.test*(variável_dependente~variável_independente, dados).

Por fim, realizamos o teste de Tukey (através do comando *TukeyHSD* (*aov*, alternative="two.sided")) de modo a investigar as comparações entre os vários algoritmos 2 a 2 de forma a compararmos as diferenças nas médias de *turnaround time*, o tempo de espera e o tempo de resposta.

Para realizarmos os testes descritos, fizemos primeiramente uma análise do algoritmo Round Robin com diferentes *quantums*, onde também aplicamos o teste da ANOVA. Aqui verificamos se havia diferenças significativas nas médias de *turnaround time*, *waiting time* e *response time* com diferentes *quantums* e quais davam melhores resultados para cada cenário dependendo da variável em estudo, sendo que, para fazer a comparação entre os algoritmos e workloads apenas foram usados os dados do Round Robin com o *quantum* onde obtivemos melhores resultados.

Para estudarmos a variância entre os 3 tipos de *workloads* gerados, voltamos a fazer o mesmo procedimento descrito acima para os algoritmos, também para os valores de tempo de *turnaround*, espera e de resposta. Por fim, fizemos o *two-way* ANOVA para compararmos simultaneamente os algoritmos e os *workloads* e verificarmos se havia ou não interação entre ambos, sendo o procedimento também semelhante ao descrito.

Formulação das hipóteses

As hipóteses formuladas foram as seguintes:

H_{01} (algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes algoritmos.

H_{02} (algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes algoritmos.

H_{03} (algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *response time* nos diferentes algoritmos.

H_{01} (workloads): não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes workloads.

H_{02} (workloads): não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes workloads.

H_{03} (workloads): não há uma diferença significativa na média de *response time* nos diferentes workloads.

H_0 (interações): $\gamma_{ij} = 0$ para todo o algoritmo i e workload j .

H_1 : o contrário de H_0 , i.e. há uma diferença significativa.

O que queremos dizer com “interações” é se há algum workload que tem melhor performance com um algoritmo do que com outro.

Resultados e Discussão

Comparação dos *quantums*

De forma a estudar qual o melhor quantum em cada workload foram feitos testes com ANOVA com as seguintes hipóteses:

H_{01} : não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes *quantums*.

H_{02} : não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes *quantums*.

H_{03} : não há uma diferença significativa na média de *response time* nos diferentes *quantums*.

H_1 : o contrário de H_{0i} , i.e. há uma diferença significativa.

A tabela 1 contém os *p-values* obtidos no sumário do modelo de análise de variância, e como são todos maiores que o nível de significância 0.05 as hipóteses são todas aceites, ou seja, foi possível concluir que não existe uma diferença significativa com qualquer quantum que seja escolhido. Mesmo assim, os *quantums* que produzem menores tempos de espera, resposta e *turnaround*, mesmo que seja por pouco, foram colocados na tabela 2, sendo estes resultados utilizados para os estudos posteriores.

	<i>Turnaround Time</i>	<i>Waiting Time</i>	<i>Response Time</i>
<i>Workload 1</i>	0.986	0.953	1
<i>Workload 2</i>	0.995	0.995	0.891
<i>Workload 3</i>	0.912	0.908	0.719

Tabela 1 - Resultados dos *p-values* obtidos com o *one way anova*.

	<i>Turnaround Time</i>	<i>Waiting Time</i>	<i>Response Time</i>
<i>Workload 1</i>	0.1	0.1	0.3
<i>Workload 2</i>	0.3	0.3	1
<i>Workload 3</i>	0.1	0.1	0.3

Tabela 2 - Melhores *quantums* para cada métrica de performance.

Comparação dos diferentes algoritmos e *workloads*

Cenário n.º1

H_{01} (algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		diff	lwr	upr	p adj
w1_data\$Algorithm	3	5.600e-07	1.860e-07	0.041	0.989	RR-FCFS	-9.007306e-05	-0.002310748	0.002130602	0.9995433
Residuals	48	2.172e-04	4.526e-06			SJF-FCFS	8.881784e-16	-0.002220675	0.002220675	1.0000000
						SRTF-FCFS	-2.537870e-04	-0.002474462	0.001966888	0.9901068
						SJF-RR	9.007306e-05	-0.002130602	0.002310748	0.9995433
						SRTF-RR	-1.637140e-04	-0.002384389	0.002056961	0.9972869
						SRTF-SJF	-2.537870e-04	-0.002474462	0.001966888	0.9901068

Figura 1 e 2 - Sumário do modelo de análise de variância e comparação emparelhada entre os *tats* dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

H₀₂(algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		\$Algorithm	diff	lwr	upr	p adj
Algorithm	3	4.800e-07	1.591e-07	0.127	0.944		RR-FCFS	-9.007305e-05	-0.001258848	0.0010787021	0.9969051
Residuals	48	6.017e-05	1.254e-06				SJF-FCFS	-2.331035e-18	-0.001168775	0.0011687752	1.0000000
							SRTF-FCFS	-2.343440e-04	-0.001403119	0.0009344312	0.9504391
							SJF-RR	9.007305e-05	-0.001078702	0.0012588482	0.9969051
							SRTF-RR	-1.442709e-04	-0.001313046	0.0010245042	0.9876095
							SRTF-SJF	-2.343440e-04	-0.001403119	0.0009344312	0.9504391

Figura 3 e 4 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de espera dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

H₀₃(algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *response time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		\$Algorithm	diff	lwr	upr	p adj
Algorithm	3	1.980e-09	6.586e-10	0.333	0.801		RR-FCFS	-1.457896e-16	-4.640078e-05	4.640078e-05	1.0000000
Residuals	48	9.484e-08	1.976e-09				SJF-FCFS	-1.202787e-19	-4.640078e-05	4.640078e-05	1.0000000
							SRTF-FCFS	-1.423554e-05	-6.063632e-05	3.216524e-05	0.8463791
							SJF-RR	1.456693e-16	-4.640078e-05	4.640078e-05	1.0000000
							SRTF-RR	-1.423554e-05	-6.063632e-05	3.216524e-05	0.8463791
							SRTF-SJF	-1.423554e-05	-6.063632e-05	3.216524e-05	0.8463791

Figura 5 e 6 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de resposta dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

Fazendo a análise aos dados obtidos a partir da aplicação do *one-way* ANOVA às métricas de desempenho relativos ao primeiro *workload* gerado podemos afirmar que o *p-value* obtido (figuras 2,4 e 6) neste caso é bastante maior do que o nível de significância (0.05), o que nos leva a concluir que não existem diferenças significativas entre os vários grupos sujeito a teste (os quatro algoritmos de escalonamento). Logo aceitamos as hipóteses. Para além disso o *F value*, sendo um valor menor que 1 diz-nos que a média entre as variâncias dentro de cada grupo são maiores que as variâncias entre as médias de cada grupo, e sendo um valor menor que 2.79 (valor F crítico - obtido através do comando `qf(0.95, df1=3, df2=48)`), outra vez, aceitamos a hipótese nula.

O facto de haver pouca diferença entre as *performances* em termos de *turnaround time*, *waiting time* e *response time* deve-se ao facto de ter-se gerado um *workload* bastante leve em comparação aos outros dois, o que não nos possibilitou observar grandes diferenças entre os comportamentos dos vários algoritmos neste caso. Isto torna-se ainda mais evidente quando é feita a comparação emparelhada entre as médias entre os quatro grupos usando o TukeyHSD (figuras 3,5,7), onde podemos constatar que as diferenças existentes entre as diferentes combinações de algoritmos são bastante mínimas. Mesmo assim, e por muito pouco que seja, é possível notar que os algoritmos *SJF* e *SRTF* têm resultados ligeiramente melhores.

Cenário n.º2

H₀₁(algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		\$Algorithm	diff	lwr	upr	p adj
w2_data\$Algorithm	3	1845405	615135	32.99	1.01e-11 ***		RR-FCFS	-27.68984	-170.2348	114.8551	0.9546252
Residuals	48	895049	18647				SJF-FCFS	-383.98770	-526.5326	-241.4428	0.0000000
							SRTF-FCFS	-396.02756	-538.5725	-253.4826	0.0000000
							SJF-RR	-356.29786	-498.8428	-213.7529	0.0000001
							SRTF-RR	-368.33773	-510.8827	-225.7928	0.0000001
							SRTF-SJF	-12.03987	-154.5848	130.5051	0.9959393

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Figura 7 e 8 - Sumário do modelo de análise de variância e comparação emparelhada entre os *tats* dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

H₀₂(algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		\$Algorithm	diff	lwr	upr	p adj
Algorithm	3	1843283	614428	33.67	7.28e-12 ***		RR-FCFS	-27.70092	-168.7228	113.3209	0.9531921
Residuals	48	876024	18251				SJF-FCFS	-383.93774	-524.9596	-242.9159	0.0000000
---							SRTF-FCFS	-395.66361	-536.6855	-254.6418	0.0000000
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1							SJF-RR	-356.23681	-497.2587	-215.2150	0.0000001
							SRTF-RR	-367.96269	-508.9845	-226.9408	0.0000001
							SRTF-SJF	-11.72588	-152.7477	129.2960	0.9961235

Figuras 9 e 10- Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de espera dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

H₀₃(algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *response time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		\$Algorithm	diff	lwr	upr	p adj
Algorithm	3	1.143	0.3810	11.25	1.04e-05 ***		RR-FCFS	-0.02212684	-0.2142015	0.1699478	0.9898731
Residuals	48	1.625	0.0339				SJF-FCFS	-0.04996019	-0.2420348	0.1421144	0.8995599
---							SRTF-FCFS	-0.36395140	-0.5560260	-0.1718768	0.0000404
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1							SJF-RR	-0.02783335	-0.2199080	0.1642413	0.9802728
							SRTF-RR	-0.34182457	-0.5338992	-0.1497500	0.0001130
							SRTF-SJF	-0.31399122	-0.5060658	-0.1219166	0.0003996

Figura 11 e 12 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de resposta dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

A partir do sumário do modelo de análise de variância podemos averiguar que o *p-value* do `w2_data$Algorithm` (figura 9) para o *turnaround time* (*tat*) é 1.01e-11 (o que é bastante significativo). Como o *p* valor é menor que o nível de significância de 0.05, isto leva-nos a concluir que existem diferenças significativas nos tempos de *turnaround* entre os diferentes grupos.

Ao contrário do *workload* anterior, a *performance* do *scheduler* vai depender vastamente do algoritmo que é escolhido. Adicionalmente, na comparação emparelhada entre as médias dos *turnaround times* dos diferentes algoritmos (figura 10), podemos verificar que, por exemplo, há uma grande diferença entre a média de *tat* entre o algoritmo *SRTF* e o *FCFS*.

Além disso, através das figuras acima é possível extrair o *p-value* relativo ao tempo de espera (figura 11): 7.28e-12. Este valor é também bastante mais significativo que o do cenário anterior (apenas 0.989), desta forma, é natural que a diferença entre algoritmos também seja mais significativa (neste caso é bastante menor que o nível de significância, portanto a hipótese H₀₂ é rejeitada). No entanto, podemos verificar que a diferença depende dos algoritmos que são comparados (figura 12), por exemplo, a maior diferença que existe é entre o *SRTF* e o *FCFS* (-395.66361) e a menor é entre o *SRTF* e o *SJF* (-11.72588). Assim, ao observar todas as diferenças podemos notar que o melhor algoritmo é o *SRTF*.

Quanto ao *response time* podemos ver pela figura 13 do sumário de análise de variância que o *p-value* (1.04e-05) é bastante menor que o nível de significância 0.05, portanto, rejeitamos a hipótese H₀₃. Ou seja, aqui o tipo de algoritmo escolhido já fará diferença. Observando a diferença entre as médias (figura 14) podemos verificar que o *FCFS* apresenta sempre maiores médias de tempo de resposta em relação aos outros algoritmos. O *RR* apesar de ser um pouco melhor, não tem resultados muito diferentes do *FCFS* e, as maiores diferenças são entre o *SRTF* e o *FCFS* e o *SRTF* e o *RR*, sendo, em ambos, o *SRTF* o melhor e depois também há uma grande diferença entre o *SRTF* e o *SJF*, onde mais uma vez, o *SRTF* é melhor.

Fazendo uma análise ao *F value* obtido para cada um dos cenários, podemos concluir que, ao ter-se obtido valores maiores que o valor *F* crítico (2.79), podemos então não aceitar a hipótese nula.

Cenário n.º3

H₀₁(algoritmos): não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes algoritmos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		\$Algorithm	diff	lwr	upr	p adj
w3_data\$Algorithm	3	38023505	12674502	946.8	<2e-16 ***		RR-FCFS	-100.45667	-221.2362	20.32288	0.1341284
Residuals	48	642584	13387				SJF-FCFS	-1741.53208	-1862.3116	-1620.75253	0.0000000
---							SRTF-FCFS	-1776.08267	-1896.8622	-1655.30311	0.0000000
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1							SJF-RR	-1641.07541	-1761.8550	-1520.29585	0.0000000
							SRTF-RR	-1675.62600	-1796.4056	-1554.84644	0.0000000
							SRTF-SJF	-34.55059	-155.3301	86.22897	0.8713535

Figura 13 e 14 - Sumário do modelo de análise de variância e comparação emparelhada entre os *tats* dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

$H_{02}(\text{algoritmos})$: não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes algoritmos.

							\$Algorithm				
								diff	lwr	upr	p adj
							RR-FCFS	-100.71525	-221.6014	20.17088	0.1331181
							SJF-FCFS	-1729.12515	-1850.0113	-1608.23902	0.0000000
							SRTF-FCFS	-1750.41013	-1871.2963	-1629.52400	0.0000000
							SJF-RR	-1628.40990	-1749.2960	-1507.52377	0.0000000
							SRTF-RR	-1649.69488	-1770.5810	-1528.80875	0.0000000
							SRTF-SJF	-21.28498	-142.1711	99.60115	0.9655775
Algorithm	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)						
Residuals	48	643719	13411								

Signif. codes:	0	****	0.001	***	0.01	**	0.05	.	0.1	'	1

Figura 15 e 16 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de espera dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

$H_{03}(\text{algoritmos})$: não há uma diferença significativa na média de *response time* nos diferentes algoritmos.

							\$Algorithm				
								diff	lwr	upr	p adj
							RR-FCFS	-0.238066	-1.441538	0.9654056	0.9522658
							SJF-FCFS	-12.406933	-13.610405	-11.2034614	0.0000000
							SRTF-FCFS	-25.672538	-26.876010	-24.4690664	0.0000000
							SJF-RR	-12.168867	-13.372339	-10.9653954	0.0000000
							SRTF-RR	-25.434472	-26.637944	-24.2310004	0.0000000
							SRTF-SJF	-13.265605	-14.469077	-12.0621334	0.0000000
Algorithm	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)						
Residuals	48	64	1.3								

Figura 17 e 18 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de resposta dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*)

Neste caso, onde aplicamos o *one-way* ANOVA aos dados obtidos para o *workload* com a carga mais pesada, é onde se torna mais evidente as diferenças entre as performances dos diferentes algoritmos. O *p-value*, de novo, é muito menor que o nível de significância (figura 16). Por essa razão iremos rejeitar a hipótese H_0 e concluir que há, de facto, uma diferença significativa entre as médias dos tempos de *turnaround* entre os quatro algoritmos.

Em relação ao tempo de espera também o *p-value* é menor que o nível de significância 0.05: 2e-16, sendo assim a hipótese também rejeitada (figura 18). Além disso, a diferença entre algoritmos também é maior que nos outros cenários (figura 19), sendo que, a maior diferença de tempo de espera entre algoritmos é -1750.41013 (*SRTF-FCFS*) e a menor é -21.28498 (*SRTF-SJF*). Ao observar todas as diferenças podemos notar que o melhor algoritmo é o *SRTF* e o pior é o *FCFS*.

Em relação ao tempo de resposta também o *p-value* obtido (2e-16) é muito menor que o nível de significância 0.05 (figura 20), ou seja, com este *workload* rejeitamos a hipótese. Analisando a diferença das médias (figura 21), conseguimos perceber que, mais uma vez, o *RR* e o *FCFS* tiveram resultados muito semelhantes e o *SRTF* é melhor comparativamente aos outros, seguido do *SJF*.

Neste caso, tal como no anterior, o *F value* obtido com os testes ultrapassa o valor *F* crítico por uma margem bastante grande, confirmando que a hipótese nula deve ser rejeitada.

Comparação dos vários *Workloads*

$H_{01}(\text{workloads})$: não há uma diferença significativa na média de *turnaround time* nos diferentes *workloads*.

							\$workload				
								diff	lwr	upr	p adj
							2-1	1129.751	946.122	1313.379	0
							3-1	5543.302	5359.674	5726.931	0
							3-2	4413.552	4229.923	4597.180	0
workload	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)						
Residuals	231	5.459e+07	236330								

Signif. codes:	0	****	0.001	***	0.01	**	0.05	.	0.1	'	1

H₀(workloads): não há uma diferença significativa na média de *waiting time* nos diferentes *workloads*.

Figura 21 e 22 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de espera dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*).

H03(workloads): não há uma diferença significativa na média de *response time* entre os diferentes *workloads*.

Figura 23 e 24 - Sumário do modelo da análise da variância e comparação emparelhada entre os tempos de resposta dos diferentes algoritmos (*Tukey Honest Significant Differences*)

Como podemos observar pelas figuras 23, 26 e 29, o *p-value* em todos os testes é de $2e-16$, ou seja, muito menor do que o nível de significância de 0.05. Deste modo, rejeitamos todas as hipóteses. Como era de esperar, o *Turnaround Time*, o Tempo de Espera e o Tempo de Resposta dependem do workload.

Em relação à diferença das médias (figuras 24, 27 e 30), conseguimos ver que o *workload* 1 é o que apresenta menores valores de *Turnaround Time*, o Tempo de Espera e o Tempo de Resposta, seguido do *Workload* 2 e depois do 3.

Interações

H₀(interações): gama_{ij} = 0 para todo o algoritmo i e workload j.

Turnaround Time

Interaction plot

Y-axis: TAT (0 to 5000)

X-axis: Algorithm (FCFS, RR, SJF, SRTF)

Legend: Workload (1: black dotted line, 2: green dashed line, 3: red solid line)

Algorithm	Workload 1 (TAT)	Workload 2 (TAT)	Workload 3 (TAT)
FCFS	~100	~1200	~5800
RR	~100	~1200	~5800
SJF	~100	~900	~4500
SRTF	~100	~900	~4500

Figura 25 e 26 - Sumário do modelo da análise da variância e gráfico das interações.

Waiting Time

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Algorithm	3	22812	7604	13844	<2e-16	***
workload	2	227975	113987	207531	<2e-16	***
Algorithm:workload	6	5176	863	1571	<2e-16	***
Residuals	222	122	1			

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

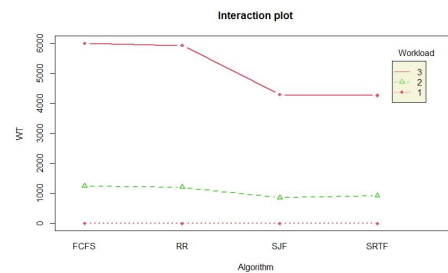


Figura 27 e 28 - Sumário do modelo da análise da variância e gráfico das interações.

Response Time

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Workload	2	150609	75305	165578	<2e-16	***
Algorithm	3	1986	662	1456	<2e-16	***
Workload:Algorithm	6	3813	636	1397	<2e-16	***
Residuals	144	65	0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

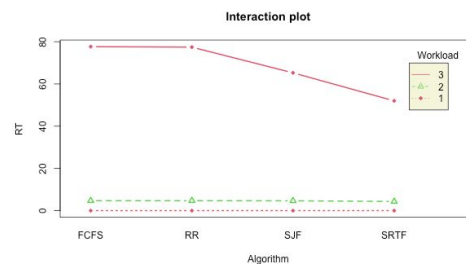


Figura 29 e 30 - Sumário do modelo da análise da variância e gráfico das interações do tempo resposta.

Ao fazermos uma análise aos gráficos das interações (figuras 32, 34 e 36) de cada um dos parâmetros podemos averiguar que há uma clara distinção entre os efeitos da aplicação dos algoritmos em cada *workload*, e que não podemos generalizar as *performances* dos vários algoritmos. No caso do workload mais pesado (3) em comparação com os outros dois (1 e 2) pode-se verificar que o *turnaround time*, o tempo de espera e o tempo de resposta vai depender bastante do algoritmo escolhido, enquanto para o workload 2 as diferenças não são muito notáveis e para o workload 1 é praticamente nula. Analisando também o p-value (figuras 31, 33 e 35) podemos rejeitar a hipótese e assumir que há interação entre os algoritmos e os vários *workloads*, uma vez que é muito menor que 0.05.

Conclusão

Concluindo, como é possível observar pelos testes realizados o *Shortest Remaining Time First* é o algoritmo que apresenta menor tempo de turnaround, de espera e de resposta, isto porque dá prioridade aos processos menores, o que vai diminuir bastante o tempo de espera, e, por conseguinte *turnaround*.

Através do método ANOVA foi possível concluir que no primeiro cenário com um workload mais leve não existe uma diferença significativa na média de *turnaround*, *waiting* e *response time* nos diferentes algoritmos, no entanto, com cargas mais pesadas isto não acontece. Além disso, verificou-se uma diferença significativa na média de *turnaround*, *waiting* e *response time* em todos os *workloads*, não sendo assim importante o peso de cada *workload*. Em termos de interação entre algoritmos e *workloads* conclui-se que esta é relevante, uma vez que a performance de cada algoritmo depende do *workload* a ser usado.

Na comparação dos *quantums* que fizemos inicialmente para verificar se o quantum afetava a performance do algoritmo, usando o teste da ANOVA, concluímos que não houve diferenças significativas com diferentes valores.

Ao realizarmos os vários testes ANOVA, alguns deles não passaram nas suposições, isto é, os resíduos não seguiam uma distribuição normal, as variâncias não eram homogêneas e os dados não eram independentes, e por isso, nesses casos, fizemos também o teste de *Kruskal*, sendo que obtivemos resultados semelhantes em termos de *p-value* comparativamente ao ANOVA, ou seja, as hipóteses foram rejeitadas e aceites nos mesmos cenários.