

Reactive D31: The AI Awakens

Trabalho Prático 2

Ana Carolina Alves 2017210460
Leandro Pais 2017251509
M. Gabriela Valente 2017265565



Keywords

Pesquisa aleatória, trepa colinas, recristalização simulada, arrefecimento, resultados.

Abstract

No âmbito da cadeira de Introdução à Inteligência Artificial foi implementado utilizando o ambiente Unity um agente cuja função, quando colocado num dado ambiente, é recolher todos os recursos presentes da forma mais eficiente possível (minimizando a distância percorrida) de forma a economizar energia. Para determinar o caminho ótimo entre recursos é utilizado o algoritmo A* garantindo assim que a distância percorrida é a menor, no entanto isto não é suficiente, é ainda necessário determinar a melhor ordem para a recolha destes recursos. Como tal, este trabalho tem como objetivo comparar três algoritmos distintos para o efeito, a pesquisa aleatória, o trepa colinas e por fim, a recristalização simulada.

Assim, serve o presente relatório para descrever todo o processo desde a implementação, escolhas que foram tomadas, alguns problemas que foram encontrados e como é que foram resolvidos, a experimentação e respetivos métodos e por fim, e provavelmente mais importante o desempenho verificado para cada algoritmo e possíveis relações a retirar dos dados obtidos.

Índice

Keywords	2
Abstract	2
Implementação	3
Configuração Experimental	4
Resultados Experimentais	5
1) Mapa <i>ObstaclesSmallManyBox</i>	5
2) Mapa <i>ReturnTo2b</i>	6
3) Mapa <i>Pacman</i>	8
4) Mapa <i>Bomberman</i>	10
	12
Discussão	12
	13
Conclusão	14
Referências	15
Anexos	15

Introdução

Com o intuito de ajudar à sobrevivência do nosso agente D31 foi-lhe implementado um módulo de procura básico que lhe permite determinar qual a melhor ordem de recolha dos recursos do ambiente em que se encontra, de modo a que o custo (distância percorrida) desse percurso seja o menor possível. Com este trabalho pretende-se adquirir conhecimentos práticos de análise e desenvolvimento no ramo da algoritmia de procura. Em particular, perceber como é feita a modelação de problemas para a procura heurística e como é que esta se compara, em termos de performance, com a procura estocástica destacando as forças e fraquezas de cada uma das abordagens.

Implementação

Neste novo módulo foram escolhidos e implementados três algoritmos de procura: (i) Pesquisa aleatória; (ii) Trepa colinas; (iii) Recristalização simulada. A pesquisa aleatória já vinha incluída no package e para os restantes algoritmos a implementação foi feita seguindo o pseudocódigo fornecido através do enunciado. Como tanto a pesquisa aleatória como o trepa colinas apenas se tem controlo sobre o número de iterações não foi desenvolvido nenhum código extra.

No que toca à recristalização simulada foram tomadas decisões essencialmente sobre o tipo de arrefecimento a implementar. Assim, após alguma pesquisa e experimentação foi evidente que para obter melhores resultados era necessário um arrefecimento lento nesse sentido e tendo por base um estudo publicado no *scirp* foi eleita a estratégia:

$$T_{k+1} = T_k - \Delta T_k$$

Onde delta é um valor tipicamente baixo entre 0.001 e 0.05 declarado publicamente para que possa ser alterado em tempo real através do unity de modo a facilitar os testes. Por fim, é de notar que uma das condições de execução do algoritmo de recristalização é a temperatura ser superior a zero, para efeitos práticos consideremos que zero é $\approx 10^{-6}$.

Configuração Experimental

No que toca à configuração experimental tendo por base as indicações fornecidas pelos professores foi escolhido um modelo em que cada teste será repetido cinco vezes. Para este efeito, foram eleitas de forma arbitrária cinco seeds: 2020, 2000, 1000, 50, 154. Seguidamente, para cada seed foi primeiramente testado e otimizada (com valores de temperatura e arrefecimento adequados) a recristalização simulada e depois de alcançado um valor satisfatório foram executados os restantes algoritmos mantendo o mesmo número de iterações para garantir a fidelidade dos dados.

De modo a tentar manter o relatório sucinto foi decido incluir apenas os mapas que o grupo considera que sejam capazes de evidenciar melhor as diferenças entre os algoritmos testados, no mesmo sentido foram apenas incluídos os testes com mil iterações pois para este valor foi considerado que a pesquisa aleatória tem uma boa chance de encontrar uma solução competitiva sem afetar negativamente o desempenho dos restantes algoritmos. No entanto, encontram-se em anexo todos os testes efetuados que incluem os restantes mapas e a variação do número de iterações. Por fim, repetimos este processo para cada um dos ambientes escolhidos. Após toda a fase de testes foram calculados os dados estatísticos (nomeadamente a média) necessários à análise e discussão dos resultados obtidos.

Assim, resta apenas deixar uma breve explicação no que toca às seguintes tabelas. A parte inicial da tabela referente à parametrização da recristalização simulada especifica um primeiro conjunto de testes onde fizemos variar a temperatura e o valor de delta para alcançar um valor satisfatório utilizando sempre mil iterações. De seguida, mantendo o número de iterações executámos os restantes algoritmos e anotámos os dados relevantes para comparação (iteração custo e sequência) que corresponde à parte de comparação dos algoritmos. Por fim, este processo foi repetido para cada seed e as tabelas resultantes foram unidas como se pode ver a seguir.

Resultados Experimentais

1) Mapa *ObstaclesSmallManyBox*

Seed 2020					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	500	0.05	364	37	1 2 11 4 8 12 3 9 6 7 10 5
	500	0.02	746	34	2 11 4 8 12 3 5 10 7 9 6 1
	2000	0.02	714	45	2,1,6,9,7,3,12,11,4,8,5,10
	2000	0.05	399	40	9,4,8,12,3,5,10,7,6,1,2,11
	2000	0.025	659	32	9,6,7,10,5,3,12,8,4,11,2,1
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		47	49	6,9,10,5,8,11,2,1,7,3,12,4
	Trepa colinas		547	30	9,6,1,2,11,4,8,12,3,5,10,7
	Recristalização simulada		659	32	9,6,7,10,5,3,12,8,4,11,2,1

Seed 2000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	500	0.05	363	36	7 10 5 3 12 8 4 11 2 1 9 6
	1000	0.025	768	36	1 2 11 4 8 12 3 5 10 9 6 7
	2000	0.05	350	41	9 10 5 3 12 7 6 1 2 11 8 4
	2000	0.025	704	32	9,6,7,10,5,3,12,8,4,11,2,1
	3000	0.02	907	30	9 6 1 2 11 4 8 12 3 5 10 7
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		737	53	5,1,6,9,11,2,4,8,12,3,7,10
	Trepa colinas		907	30	9 6 1 2 11 4 8 12 3 5 10 7
	Recristalização simulada		704	32	9 6 7 10 5 3 12 8 4 11 2 1

Seed 1000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	1000	0.05	335	32	9 6 7 10 5 3 12 8 4 11 2 1
	5500	0.02	894	38	2 11 4 8 12 3 7 5 10 9 6 1
	8000	0.04	517	36	9 6 10 5 7 3 12 8 4 11 2 1
	7000	0.03	647	34	2 1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11
	3000	0.02	874	31	1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11 2
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		60	50	1,6,2,4,8,11,12,5,10,7,9,3
	Trepa colinas		341	30	9,6,1,2,11,4,8,12,3,5,10,7
	Recristalização simulada		874	31	1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11 2

Seed 50					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	1000	591	0.025	40	9 1 2 11 4 6 7 10 5 3 12 8
	5000	360	0.05	37	9 1 2 11 6 7 10 5 3 12 8 4
	10000	701	0.025	34	6 1 2 11 4 8 12 3 5 10 7 9
	15000	421	0.5	35	1 2 11 6 9 7 10 5 3 12 8 4
Comparação dos Algoritmos	3000	790	0.02	31	1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11 2
	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		366	54	2,11,1,6,3,5,10,9,7,12,4,8
	Trepas colinas		438	40	1,2,4,8,11,6,9,7,10,5,3,12
	Recristalização simulada		790	31	1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11 2

Seed 154					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	10000	0.05	324	42	9 7 10 5 3 12 11 6 1 2 4 8
	10000	0.025	745	40	2 11 4 1 6 9 7 10 5 3 12 8
	1000	0.025	667	38	1 2 11 4 6 9 7 10 5 3 12 8
	1000	0.03	433	34	7 10 5 3 12 8 4 11 2 1 6 9
Comparação dos Algoritmos	1000	0.04	503	31	1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11 2
	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		407	54	9,7,5,1,2,6,10,3,11,4,8,12
	Trepas colinas		101	38	9,4,5,10,7,6,1,2,11,4,8,12
	Recristalização simulada		503	31	1 6 9 7 10 5 3 12 8 4 11 2

2) Mapa ReturnTo2b

Seed 2020					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	2000	0.05	302	73	1 9 8 7 5 6 3 4 2
	1000	0.05	404	67	1 2 4 3 6 7 8 9 5
	20000	0.025	626	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1
	500	0.025	651	71	1 3 6 5 2 4 9 8 7
	500	0.07	179	70	1 2 3 6 5 7 8 9 4
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		824	75	1 3 2 4 5 6 7 9 8
	Trepas colinas		103	67	3 1 2 4 5 6 7 8 9
	Recristalização simulada		626	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1

Seed 2000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	25000	0.025	681	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3
	5000	0.025	698	69	3 1 2 4 5 9 8 7 6
	2000	0.05	290	67	1 2 4 3 6 7 8 9 5
	1000	0.05	282	71	3 6 5 4 2 1 9 8 7
	1000	0.03	491	54	3 6 5 7 8 9 4 2 1
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		365	75	1 2 4 6 5 7 8 9 3
	Trepas colinas		45	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3
	Recristalização simulada		681	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3

Seed 1000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	1000	0.03	446	65	1 2 4 5 3 6 7 8 9
	20000	0.03	509	79	3 7 8 9 2 1 4 5 6
	20000	0.05	341	69	1 2 4 9 5 3 6 7 8
	2000	0.025	558	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1
	1500	0.025	541	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		513	74	3 6 9 8 7 5 2 1 4
	Trepas colinas		39	71	3 6 5 4 1 2 9 8 7
	Recristalização simulada		541	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3

Seed 50					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	2000	0.05	316	67	1 2 4 3 6 7 8 9 5
	10000	0.05	299	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1
	20000	0.07	257	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3
	1000	0.025	530	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1
	200	0.025	502	69	3 1 2 4 5 9 8 7 6
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		660	71	1 3 2 4 5 9 8 7 6
	Trepas colinas		144	69	3 1 2 4 5 9 8 7 6
	Recristalização simulada		257	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3

Seed 154					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	1500	0.025	563	67	1 4 2 3 6 7 8 9 5
	1500	0.03	423	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1
	500	0.03	454	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3
	500	0.05	323	64	3 6 7 8 9 5 4 2 1
	2000	0.05	293	71	3 1 2 4 9 5 6 7 8
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		227	77	1 2 4 3 6 9 5 8 7
	Trepas colinas		17	75	3 6 7 5 2 1 4 9 8
	Recristalização simulada		454	63	1 2 4 9 8 7 5 6 3

3) Mapa Pacman

Seed 2020					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	10000	0.05	431	351	6 11 1 2 21 19 22 4 5 8 17 24 7 3 12 20 18 13 14 9 16 23 15 10
	10000	0.025	889	250	11 10 15 22 21 19 9 4 1 2 6 12 17 20 24 18 23 16 13 14 8 7 3 5
	15000	0.025	822	256	11 10 15 22 21 19 9 4 1 2 6 12 17 20 24 18 23 16 13 14 8 7 3 5
	5000	0.025	805	249	5 6 14 13 16 15 10 4 1 2 3 7 12 20 17 8 9 11 19 22 21 23 18 24
Comparação dos Algoritmos	2250	0.026	935	301	3 6 24 21 23 19 13 14 12 17 20 18 4 1 2 5 16 22 15 10 11 9 8 7
	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		505	412	2 5 17 10 7 13 23 18 6 4 1 15 21 11 9 8 12 16 14 3 20 24 19 22
	Trepas colinas		960	257	3 7 6 12 17 14 11 9 8 20 24 18 23 22 16 13 5 2 1 4 10 15 21
	Recristalização simulada		889	250	11 10 15 22 21 19 9 4 1 2 6 12 17 20 24 18 23 16 13 14 8 7 3 5

Seed 2000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	5000	0.025	875	260	10 15 16 18 23 22 21 19 4 2 1 5 6 3 7 17 12 8 9 11 13 14 24 20
	10000	0.025	772	286	15 19 16 13 14 9 18 23 22 21 10 11 4 1 2 5 8 6 7 12 17 20 24
	1000	0.025	797	284	2 1 4 12 17 23 22 21 19 11 9 8 7 3 20 24 16 15 10 18 13 14 6 5
	2500	0.025	794	297	2 3 7 14 16 23 18 12 8 6 15 10 11 13 20 24 17 9 4 1 5 22 21 19
Comparação dos Algoritmos	2250	0.026	724	258	11 9 8 5 6 7 3 2 1 4 18 23 22 21 19 15 10 13 16 20 24 17 14 12
	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		346	417	4 6 12 7 2 8 24 16 23 18 17 3 1 5 15 20 14 13 19 9 22 21 10 1
	Trepas colinas		767	244	2 1 5 6 8 14 13 16 15 10 4 11 9 20 24 19 21 22 23 18 17 12 7 3
	Recristalização simulada		724	258	11 9 8 5 6 7 3 2 1 4 18 23 22 21 19 15 10 13 16 20 24 17 14 12

Seed 1000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	2400	0.026	814	268	2 1 4 10 11 9 5 7 13 15 23 22 21 19 18 16 14 12 6 3 8 24 17 2
	2250	0.026	710	310	11 13 16 22 15 10 1 2 3 7 19 21 23 18 17 5 4 9 8 6 12 14 24 20
	2250	0.02	842	261	3 7 6 8 12 17 23 22 19 21 18 24 20 15 16 13 5 2 1 4 10 11 9 14
	2250	0.019	909	278	2 1 15 22 21 11 13 16 19 23 20 24 18 10 4 9 14 12 8 5 6 3 7 17
	2250	0.021	781	257	2 1 4 11 5 6 8 12 17 9 10 15 14 13 3 7 20 24 18 16 23 22 21 19
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		530	385	2 1 21 5 12 6 7 3 20 17 22 15 10 19 4 13 11 23 14 9 8 16 18 24
	Trepas colinas		667	228	2 1 4 10 11 15 16 13 8 7 3 6 5 9 14 12 17 24 23 22 21 19 18 20
	Recristalização simulada		781	257	2 1 4 11 5 6 8 12 17 9 10 15 14 13 3 7 20 24 18 16 23 22 21 19

Seed 50					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	2400	0.022	958	237	1 4 9 8 12 17 20 24 16 18 10 11 13 14 6 7 3 5 15 19 21 22 23
	2400	0.021	945	287	1 19 21 23 22 15 10 4 18 24 20 17 16 13 11 5 6 8 9 14 12 7 3 2
	2600	0.022	964	252	15 9 7 3 6 8 14 10 11 13 16 19 21 22 23 18 24 20 17 12 5 2 1
	2400	0.022	959	259	2 1 4 5 6 8 13 10 15 23 18 16 14 17 24 20 12 7 3 9 11 21 22 19
	2400	0.019	993	286	9 11 21 19 23 18 7 3 2 1 4 10 13 14 12 8 5 6 17 20 24 15 22 16
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		201	401	12 16 15 22 19 18 6 7 3 20 1 2 5 11 23 24 17 13 10 4 21 9 8 14
	Trepas colinas		913	243	6 5 4 1 2 3 7 16 23 18 24 20 17 12 14 8 9 13 11 10 15 22 21 19
	Recristalização simulada		958	237	1 4 9 8 12 17 20 24 16 18 10 11 13 14 6 7 3 5 15 19 21 22 23

Seed 154					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	2400	0.026	749	257	2 5 3 7 10 19 16 13 14 12 8 6 17 20 24 18 23 22 21 15 11 9 4 1
	2200	0.021	984	251	2 1 4 5 8 14 13 16 19 21 23 20 24 17 18 22 15 10 9 11 12 6 3 7
	2400	0.021	956	226	2 1 10 15 16 19 21 22 23 18 24 20 17 12 9 5 6 3 7 8 14 13 11 4
	2600	0.021	866	244	2 1 5 9 15 22 23 21 19 16 13 18 24 20 17 7 3 6 8 12 14 11 10 4
	2400	0.022	764	273	3 7 8 14 12 6 5 15 16 18 17 9 1 2 4 13 20 24 23 22 21 19 11 10
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		583	399	5 10 16 3 6 17 23 22 15 14 8 9 7 12 20 13 2 1 4 21 18 19 11
	Trepas colinas		537	248	15 19 21 22 23 18 24 20 7 3 2 1 4 10 11 16 13 14 12 17 8 6 5 9
	Recristalização simulada		956	226	2 1 10 15 16 19 21 22 23 18 24 20 17 12 9 5 6 3 7 8 14 13 11 4

4) Mapa Bomberman

Seed 2020					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	3000	0.025	861	95	20 19 9 3 12 11 13 18 17 16 15 14 10 6 7 8 2 1 4 5
	9000	0.035	642	91	15 17 20 18 13 8 14 16 10 6 7 4 1 2 3 5 11 9 12 19
	2000	0.02	814	87	16 15 11 12 3 9 5 8 2 1 4 7 6 10 14 17 20 18 13 19
	5000	0.02	912	103	10 6 7 4 13 18 19 12 8 2 1 5 3 9 11 14 15 17 20 16
	7000	0.03	719	113	7 6 10 1 2 18 15 16 13 8 4 14 17 20 19 9 3 5 12 11
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		108	137	16 18 14 6 4 7 8 10 1 17 2 5 3 9 19 15 13 20 11 12
	Trepa colinas		806	83	16 15 13 11 9 3 5 8 4 2 1 6 7 10 14 17 20 18 19 12
	Recristalização simulada		814	87	16 15 11 12 3 9 5 8 2 1 4 7 6 10 14 17 20 18 13 19
Seed 2000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	7000	0.03	743	91	16 7 6 10 15 17 20 18 11 12 5 8 13 14 4 1 2 3 9 19
	3000	0.025	798	100	16 17 18 20 14 15 10 6 1 2 3 5 12 11 4 7 8 13 19 9
	10000	0.05	448	91	16 10 8 2 1 6 7 4 9 5 3 19 18 20 17 15 14 13 11 12
	20000	0.05	436	104	10 4 2 3 9 11 12 5 13 14 19 18 20 16 15 17 8 7 6 1
	1000	0.02	800	93	16 20 15 10 7 6 1 4 8 11 12 19 18 17 14 13 2 3 9 5
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		436	139	17 20 1 4 7 2 3 9 19 13 11 5 8 15 14 18 16 6 12 10
	Trepa colinas		610	76	16 15 14 17 20 19 18 13 11 12 9 3 5 8 2 4 10 6 7 1
	Recristalização simulada		448	91	16 10 8 2 1 6 7 4 9 5 3 19 18 20 17 15 14 13 11 12

Seed 1000					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	2000	0.05	319	101	16 10 6 7 4 1 2 15 19 9 11 12 3 5 8 13 14 20 18 17
	15000	0.025	910	100	17 15 20 18 19 13 11 12 10 7 6 16 14 8 2 1 4 5 9 3
	6000	0.025	846	92	16 15 17 10 6 7 5 11 12 19 18 20 14 13 8 9 3 2 4 1
	4000	0.02	972	101	16 10 12 11 18 19 3 9 8 4 7 6 1 2 5 20 17 15 14 13
	8000	0.025	800	92	16 15 7 10 4 5 11 12 9 19 18 20 17 14 13 8 6 1 2 3
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		1	145	19 6 7 16 17 10 5 1 8 12 11 13 18 9 3 2 4 14 15 20
	Trepa colinas		523	89	16 10 15 14 13 11 12 18 20 17 4 2 1 6 7 8 5 3 9 19
	Recristalização simulada		800	92	16 15 7 10 4 5 11 12 9 19 18 20 17 14 13 8 6 1 2 3

Seed 50					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Δ	Iteração	Custo	Sequência
	3000	0.02	837	99	19 9 12 11 5 3 2 4 1 7 6 10 14 8 13 18 20 15 17 16
	8000	0.025	769	84	16 10 14 15 17 20 18 13 19 12 11 8 5 4 7 6 1 2 3 9
	10000	0.025	881	98	7 4 2 8 5 3 9 12 11 10 15 17 14 13 19 18 20 16 6 1
	20000	0.05	446	97	14 13 11 12 9 3 5 4 10 6 1 2 8 19 18 20 17 15 16 7
	7000	0.03	725	95	17 15 16 14 13 11 12 9 3 5 6 10 7 1 4 2 8 20 18 19
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		643	142	6 17 14 18 8 10 13 19 5 4 2 1 7 20 16 15 9 11 12 3
	Trepa colinas		601	91	20 18 19 12 3 2 1 6 7 4 8 5 9 11 13 14 17 15 16 10
	Recristalização simulada		769	84	16 10 14 15 17 20 18 13 19 12 11 8 5 4 7 6 1 2 3 9

Seed 154					
Parametrização da Recristalização Simulada	Temperatura	Incremento	Iteração	Custo	Sequência
	6000	0.025	776	111	16 6 10 15 17 18 11 12 4 1 7 20 19 9 3 5 2 8 13 14
	10000	0.03	723	93	10 8 2 4 1 6 7 16 15 17 20 14 13 11 12 9 5 3 19 18
	4000	0.025	858	93	1 2 3 9 5 12 11 8 4 6 7 10 16 15 17 20 14 13 18 19
	15000	0.02	996	96	16 15 11 12 19 18 20 17 14 10 1 2 13 8 7 6 4 5 9 3
	3000	0.02	981	86	16 15 17 14 10 4 2 1 7 6 8 5 11 13 18 20 19 12 9 3
Comparação dos Algoritmos	Algoritmo		Iteração	Custo	Sequência
	Pesquisa Aleatória		949	145	15 16 1 6 14 13 9 18 20 17 11 19 3 12 7 8 2 5 10 4
	Trepa colinas		675	89	10 4 5 11 12 9 3 2 1 6 7 8 13 14 15 16 17 20 18 19
	Recristalização simulada		981	86	16 15 17 14 10 4 2 1 7 6 8 5 11 13 18 20 19 12 9 3

Discussão

Em geral, e como se pode observar através da figura 1 contrariamente ao esperado o algoritmo que tirou mais partido do número elevado de iterações (1000) não foi a pesquisa aleatória (PA) mas sim a recristalização simulada (RS) isto pode ser justificado pela componente “prob” que pode permitir que o algoritmo em questão em certas ocasiões troque uma solução com um custo inferior por uma com um custo superior. No que toca aos custos obtidos por cada algoritmo e olhando para a figura 2 facilmente se percebe que os resultados estão mais alinhados com aquilo que era o esperado. Sendo que o trepa colinas (TC) e a RS apresentam uma performance bastante superior aquela que se verifica com a PA.

No entanto, é de realçar as semelhanças a nível de resultados entre o TC e a RS, esta semelhança pode ser expectável tendo em conta que a implementação da RS é largamente baseada no TC, dito isto, o grupo esperava que se notasse uma maior diferença entre os dois algoritmos com uma tendência para que o melhor fosse a RS especialmente quando considerados todos os cuidados extra relativos à parametrização que após um grande número de testes concordámos que para obter melhores resultados seria necessário um arrefecimento lento e como tal, procurámos variá-lo entre 0.001 e 0.05. Em relação à temperatura julgámos que o algoritmo seria mais eficiente com valores de temperatura relativamente elevados pois com valores baixos a RS acaba por se comportar como um TC e como tal experimentámos com valores entre 500 e 2000, passadas algumas execuções percebemos que os melhores resultados surgiam para valores de arrefecimento entre 0.02 e 0.03 e para uma temperatura entre os 1000 e 2000. Assim com os resultados obtidos, podemos especular que a parametrização, em particular o arrefecimento não ter sido lento o suficiente, adotada não foi a melhor e consequentemente impediu um melhor desempenho da RS em alguns dos mapas testados.

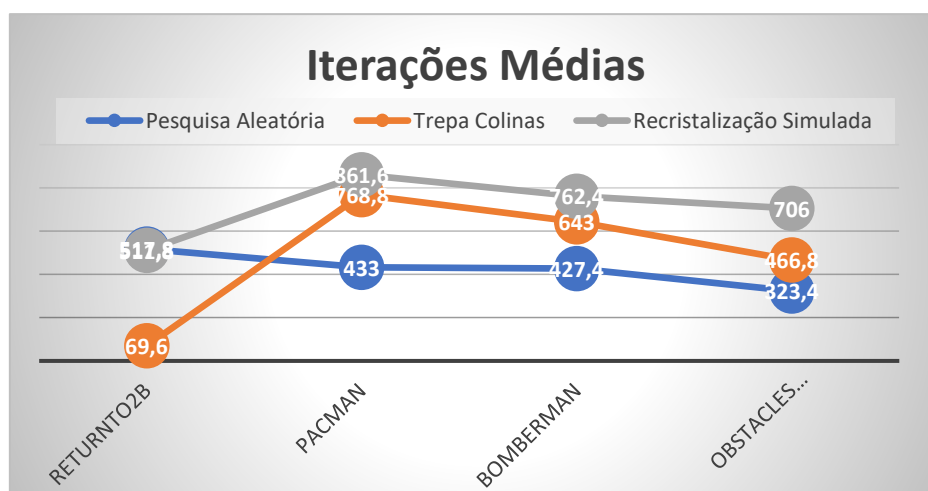


Figura 1: Número de iterações médias de cada algoritmo num dado mapa

Fazendo uma análise mais detalhada percorrendo mapa a mapa podemos observar que para um mapa relativamente simples como *ObstaclesSmallManyBox* já se começa a ver um decaimento na performance da PA e uma semelhança entre a RS e o TC é ainda de notar a estabilidade em particular da RS que para as cinco seeds testadas apresentou um custo de 31 ou 32. No segundo mapa testado, o *ReturnTo2b* um mapa mais difícil que o anterior mas ainda relativamente simples continua a verificar-se um distanciamento entre a PA e os restantes, distanciamento esse que será uma tendência que só se vai tornar ainda mais notória com o aumento da complexidade dos mapas, aqui e à semelhança do que se passou no mapa anterior o algoritmo que foi capaz de em média alcançar o melhor custo foi o RS. De seguida, foram testados os mapas complexos (*Pacman & Bomberman*) e aqui imediatamente ressalta o facto de que o algoritmo com o melhor desempenho em termos de custo deixa de ser a RS e passa a ser o TC. Destes resultados podemos, como já foi dito anteriormente, inferir sobre a qualidade da parametrização da RS, mas também podemos concluir que estes resultados demonstram que o algoritmo pode ter uma fraca escalabilidade.

Para concluir, o melhor algoritmo, em média, foi a RS o que seria de esperar pois o seu propósito é ultrapassar o problema do TC em que este tende a ficar preso na otimização da solução apenas a nível local e faz isto aceitando de vez em quando uma solução considerada pior. A probabilidade de isto acontecer diminui com o número de iterações e eventualmente a RS passa a comportar-se como o TC. Dito isto, uma melhor parametrização, especialmente na escolha do arrefecimento, poderia ter levado a uma diferença mais acentuada. Por fim, concluímos ainda que ambos os algoritmos mencionados são superiores à PA o que também seria de esperar pois para obter resultados satisfatórios para este algoritmo teríamos que aumentar indefinidamente o número de iterações para aumentar a probabilidade de ser encontrada uma boa solução isto acaba por não ser viável no mundo real e, portanto, este algoritmo não deve ser usado para problemas suficientemente complexos.



Figura 2: Custo médio alcançado por cada algoritmo num dado mapa

Conclusão

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho desde muito cedo ficou claro a sua forte componente experimental, esta transformou-se sem dúvida no maior desafio do trabalho devido ao seu volume. No entanto, em retrospectiva com alguma organização acabou por ser bem conseguida e também por ser a maior contribuidora para a aprendizagem dos alunos envolvidos. Através da experimentação conseguimos retirar conclusões bastante interessantes e que provocam o pensamento entre as quais podemos destacar a parametrização do algoritmo de recristalização simulada, em particular o que acontece quando esta não é bem feita, o impacto negativo que tem na performance.

Do ponto de vista técnico, com os resultados obtidos conseguimos retirar algumas conclusões principais relativamente a estes algoritmos de procura. Primeiramente, os algoritmos baseados em heurística estão bastante dependentes da modelação que é feita do problema em questão, modelação que pode condicionar fortemente a performance dos mesmos. Em segundo lugar, a importância da parametrização, para este trabalho relativamente simples e com um tamanho reduzido grande parte do tempo disponível para testes foi passado a parametrizar a RS e no entanto, não obtivemos os melhores resultados quer isto dizer que é importante considerar a complexidade do problema em mãos quando se escolhe um algoritmo de procura para o resolver pois este pode envolver um grande volume de trabalho extra quando não é necessário. E por último lugar, a quando da escolha de um algoritmo para resolver um dado problema ter em consideração a estabilidade que acaba por estar relacionada com a sua capacidade de escalar para problemas maiores. Este fator tornou-se particularmente evidente no caso da pesquisa aleatória que no caso dos mapas mais simples apresentam boas soluções e depende da sorte algumas das vezes até mais rapidamente do que os restantes algoritmos, mas quando os mapas aumentam de complexidade e tamanho os custos disparam automaticamente e este algoritmo deixa de ser capaz de competir com os outros testados.

Assim, torna-se fácil afirmar que saímos deste trabalho com mais e melhores conhecimentos sobre algoritmos de procura no geral e em particular os que foram abordados. Consideramos também que este tipo de trabalho é um ótimo complemento aos conhecimentos teóricos abordados nas aulas pois permitem-nos não só aplicar esses conhecimentos, mas também incentivam à procura, ao estudo e acima de tudo ao contacto prático com estes algoritmos que de outra maneira não teríamos.

Referências

Abaixo fica uma lista dos links que foram utilizados para melhor perceber os algoritmos, como implementá-los, particularmente importantes na escolha do arrefecimento da temperatura para o algoritmo de recristalização simulada.

- <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/simulated-annealing-algorithm>
- <https://www.mit.edu/~dbertsim/papers/Optimization/Simulated%20annealing.pdf>
- <https://www.geeksforgeeks.org/simulated-annealing/>
- <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/learn43/lib/photoz/.g/web/glossary/annealing.html>
- https://www.scrip.org/pdf/AM_201708301432f4828.pdf

Anexos

Segue em anexo o link para o repositório da totalidade de testes realizados.

- https://docs.google.com/spreadsheets/d/1M65SzMEC_Tbz_L4ZwZ8DMS6-uBOniJnVT1_topcFheU/edit#gid=141735820