
1. AMBIENTE DE EXECUÇÃO

Os algoritmos foram executados em uma máquina com sistema operacional Windows 11 com as seguintes especificações:

1. CPU Intel Core i5-10300H, 2.50GHz
2. 16 GB RAM

2. DESAFIOS

A gestão de memória e performance foi o maior desafio na implementação dos algoritmos, principalmente na resolução do 15-Puzzle, que exige muito mais memória e gera muito mais estados que o 8-Puzzle, exigindo também uma maior demanda de processamento.

Também tivemos certa dificuldade na implementação do algoritmo de Iterative Deepening Search de forma eficiente em comparação aos outros algoritmos.

3. ESTRATÉGIAS

Visando a economia de memória e tornar os algoritmos mais eficientes, usamos como estratégia o armazenamento dos estados através de uma forma comprimida (long long). Para isso, utilizamos uma função para comprimir os estados durante seu armazenamento; descomprimindo-os somente quando necessário - para expansões, manipulações ou comparações de estados, por exemplo.

Além disso, determinamos na função `succ` a geração de todos os possíveis estados sucessores de um nodo ao mover uma peça em branco em uma das quatro direções permitidas. Tomamos cuidado para não gerar novamente o último estado-pai, de forma que não sejam geradas ações que levem ao próprio estado anterior - e consequentemente - à geração desnecessária de novos nodos que não levam ao objetivo final.

4. RESULTADOS

Na Tabela 4 temos o valor médio dos resultados obtidos para o 8-Puzzle. Notamos que o custo médio da solução para o GBFS é mais alto que os demais. Isso pode ser explicado pelo fato de que GBFS não é um algoritmo ótimo, e cessa a busca ao encontrar um estado que satisfaz a condição de parada.

Outro ponto foi que o A^* para 15-Puzzle, chamado de A^* (15) na tabela, acertou 74 dos 100 estados iniciais. Consideramos o limite de tempo de 30 segundos de execução para cada instância.

Algoritmo	Expandidos	Custo da solução	Execução (s)	h médio	h inicial
A*	895.00	22.16	0.0019	10.0278	13.88
BFS	81,459.54	22.16	0.1884	0.0000	13.88
GBFS	392.42	140.52	0.0009	6.8930	13.88
IDA*	2,373.03	22.16	0.0044	10.4269	13.88
IDFS	2,578,290.56	22.16	4.9515	0.0000	13.88
A* (15)	2,647,906.23	50.95	7.3387	25.1991	35.95

5. CONCLUSÃO

A implementação dos diferentes algoritmos de busca tanto para o 8-Puzzle quanto para o 15-Puzzle permitiu-nos entender e analisar a aplicabilidade de diferentes técnicas na resolução de problemas de busca.

O Algoritmo A*, por exemplo, destaca-se pela sua eficiência na busca de soluções ótimas.

O IDFS destaca-se por ter um maior tempo de execução e um número de nodos expandidos bem considerável levando em conta que foi utilizado apenas no 8-Puzzle, e mostrando-se impraticável para o caso do 15-Puzzle.

Já o GBFS demonstrou um tempo de execução mais rápido - no entanto, apresentando uma solução de maior custo médio em comparação às outras soluções. Isso é um comportamento esperado para o GBFS, visto que sua natureza não-ótima encontra caminhos menos eficientes no geral.

Dentre os algoritmos utilizados, o A* destaca-se como uma alternativa eficiente, ótima e de execução rápida na resolução de problemas como o 8-Puzzle e o 15-Puzzle.

6. TABELAS

Tabela 1: A* para o 8-Puzzle

index	expanded	optimal_cost	time	avg_h	init_h
0	835	22	0.001774	9.082437	12
1	1024	23	0.002079	10.066706	15
2	72	17	0.000173	9.150794	13
3	953	25	0.001982	11.678322	17
4	91	16	0.000214	6.725610	10
5	652	22	0.001327	9.371818	12
6	350	22	0.000752	10.439523	14
7	612	21	0.001289	9.811357	11
8	232	17	0.000521	7.862500	7
9	177	21	0.000376	10.827119	13
10	511	23	0.001064	9.976553	15
11	1037	23	0.002121	10.386350	11
12	197	19	0.000476	8.389381	13

13	697	22	0.001469	9.280956	14
14	239	19	0.000533	7.905707	13
15	1622	22	0.003379	9.725907	10
16	315	20	0.000692	8.873394	10
17	30	21	0.000094	10.326923	19
18	373	22	0.000783	10.561798	18
19	550	22	0.001175	10.553030	16
20	34	16	0.000092	8.229508	14
21	118	16	0.000261	8.475490	10
22	1449	25	0.003016	10.864540	15
23	873	22	0.001873	10.083902	14
24	808	23	0.001717	9.784357	13
25	1167	25	0.002461	10.505647	15
26	308	21	0.000657	9.424762	15
27	41	13	0.000103	6.080000	7
28	533	23	0.001134	11.037079	13
29	346	24	0.000745	11.500000	16
30	929	24	0.001976	10.288535	14
31	117	16	0.000261	8.699507	12
32	26	18	0.000068	9.020833	16
33	666	23	0.001403	10.135993	13
34	1734	26	0.004217	10.785144	14
35	1824	27	0.003792	12.141566	17
36	231	22	0.000493	11.418182	14
37	1807	26	0.004067	10.707728	14
38	655	22	0.001384	9.455455	12
39	2298	25	0.004822	10.224357	13
40	76	14	0.000178	7.451852	8
41	786	25	0.001630	11.269619	19
42	609	21	0.001276	9.228036	11
43	2231	26	0.004630	10.650431	16
44	1757	24	0.003779	9.851374	14
45	299	24	0.000648	11.503006	20
46	41	18	0.000102	9.959459	14
47	543	23	0.001428	10.689503	15
48	438	21	0.000893	10.062078	11
49	2864	28	0.005932	12.255917	16
50	221	20	0.000590	9.784974	12
51	2849	27	0.005920	11.071413	15
52	179	19	0.000397	8.827922	11
53	1075	26	0.002253	11.579865	16
54	177	18	0.000390	8.581169	12
55	752	24	0.001625	10.091700	16
56	182	18	0.000410	8.186495	8

57	1355	24	0.002914	10.085323	12
58	205	23	0.000479	11.060345	17
59	712	24	0.001505	10.585833	16
60	1421	27	0.002908	12.022786	19
61	2186	25	0.004504	9.916120	13
62	168	21	0.000376	10.681818	15
63	39	22	0.000146	12.014706	18
64	4038	28	0.008399	11.154132	14
65	90	20	0.000213	9.616883	16
66	2905	27	0.006058	10.862562	17
67	2301	27	0.004904	11.877161	15
68	698	25	0.001450	10.871050	19
69	2190	24	0.004664	9.485266	10
70	936	24	0.001983	11.838397	16
71	238	22	0.000513	9.926290	16
72	3038	27	0.006931	10.956962	15
73	1632	26	0.003297	10.818418	18
74	4306	25	0.010055	10.300277	11
75	739	26	0.001500	11.903624	20
76	382	20	0.000816	9.364353	14
77	2084	26	0.004435	10.702233	16
78	99	16	0.000235	7.528409	10
79	2764	27	0.005773	11.431719	17
80	428	19	0.000921	8.660714	11
81	715	25	0.001477	13.085198	21
82	68	15	0.000169	7.352459	11
83	34	17	0.000087	9.274194	13
84	121	15	0.000278	7.377990	7
85	993	25	0.002070	10.744873	17
86	163	17	0.000359	8.925532	11
87	2389	27	0.004955	11.712006	17
88	369	20	0.000797	8.338118	8
89	356	20	0.000775	8.593023	12
90	1461	27	0.003018	11.142620	21
91	854	26	0.001796	11.481377	18
92	730	22	0.001533	9.600164	12
93	257	22	0.000580	11.321759	14
94	414	22	0.000879	9.852482	12
95	181	19	0.000391	9.896440	17
96	336	20	0.000782	9.108997	8
97	707	21	0.001508	8.577593	9
98	1467	24	0.003074	11.038823	14
99	1319	25	0.002808	10.782807	13

Tabela 2: BFS para o 8-Puzzle

index	expanded	optimal_cost	time	avg_h	init_h
0	70436	22	0.164352	0.0	12
1	98412	23	0.230671	0.0	15
2	11718	17	0.024956	0.0	13
3	134664	25	0.325020	0.0	17
4	5209	16	0.010878	0.0	10
5	59830	22	0.136655	0.0	12
6	71614	22	0.176916	0.0	14
7	42704	21	0.094514	0.0	11
8	10486	17	0.022748	0.0	7
9	55230	21	0.126869	0.0	13
10	86288	23	0.199813	0.0	15
11	87902	23	0.201050	0.0	11
12	24271	19	0.054292	0.0	13
13	67445	22	0.162839	0.0	14
14	21294	19	0.048049	0.0	13
15	67976	22	0.156030	0.0	10
16	30932	20	0.069314	0.0	10
17	51926	21	0.122395	0.0	19
18	74010	22	0.193353	0.0	18
19	57200	22	0.126926	0.0	16
20	6175	16	0.013130	0.0	14
21	4890	16	0.010561	0.0	10
22	128087	25	0.298735	0.0	15
23	59140	22	0.132086	0.0	14
24	86044	23	0.198589	0.0	13
25	124428	25	0.284221	0.0	15
26	55828	21	0.130141	0.0	15
27	1904	13	0.004039	0.0	7
28	89286	23	0.205862	0.0	13
29	96167	24	0.216313	0.0	16
30	108997	24	0.249110	0.0	14
31	6800	16	0.015106	0.0	12
32	12237	18	0.025565	0.0	16
33	91221	23	0.207749	0.0	13
34	146642	26	0.332966	0.0	14
35	166169	27	0.393406	0.0	17
36	61999	22	0.137459	0.0	14
37	149038	26	0.343463	0.0	14
38	66394	22	0.151534	0.0	12
39	134964	25	0.307074	0.0	13
40	3528	14	0.008124	0.0	8

41	141058	25	0.319124	0.0	19
42	51334	21	0.117084	0.0	11
43	147235	26	0.333527	0.0	16
44	96629	24	0.214107	0.0	14
45	117820	24	0.265956	0.0	20
46	12721	18	0.026494	0.0	14
47	82402	23	0.182143	0.0	15
48	55950	21	0.127405	0.0	11
49	170358	28	0.401459	0.0	16
50	41346	20	0.092656	0.0	12
51	163708	27	0.380170	0.0	15
52	25948	19	0.056220	0.0	11
53	146431	26	0.337961	0.0	16
54	16644	18	0.035277	0.0	12
55	113398	24	0.262802	0.0	16
56	12763	18	0.027242	0.0	8
57	102477	24	0.238711	0.0	12
58	91593	23	0.213172	0.0	17
59	116022	24	0.273717	0.0	16
60	170975	27	0.406431	0.0	19
61	132375	25	0.308521	0.0	13
62	43631	21	0.098013	0.0	15
63	61343	22	0.139283	0.0	18
64	173107	28	0.407677	0.0	14
65	37323	20	0.083731	0.0	16
66	166627	27	0.413731	0.0	17
67	165544	27	0.385653	0.0	15
68	136365	25	0.311992	0.0	19
69	101428	24	0.270201	0.0	10
70	99337	24	0.222509	0.0	16
71	69657	22	0.157771	0.0	16
72	169153	27	0.402423	0.0	15
73	146614	26	0.329219	0.0	18
74	136769	25	0.316830	0.0	11
75	144168	26	0.326493	0.0	20
76	32178	20	0.074380	0.0	14
77	149505	26	0.338038	0.0	16
78	6810	16	0.014803	0.0	10
79	165286	27	0.380203	0.0	17
80	20088	19	0.042861	0.0	11
81	134133	25	0.301334	0.0	21
82	3471	15	0.007114	0.0	11
83	9452	17	0.020617	0.0	13
84	4001	15	0.008619	0.0	7

85	134421	25	0.310449	0.0	17
86	10951	17	0.023265	0.0	11
87	165164	27	0.393350	0.0	17
88	32194	20	0.071009	0.0	8
89	37083	20	0.084575	0.0	12
90	163614	27	0.383156	0.0	21
91	145000	26	0.334035	0.0	18
92	68791	22	0.156999	0.0	12
93	69185	22	0.162198	0.0	14
94	66051	22	0.153977	0.0	12
95	25603	19	0.056972	0.0	17
96	30499	20	0.068173	0.0	8
97	45472	21	0.102338	0.0	9
98	106698	24	0.248634	0.0	14
99	130566	25	0.301547	0.0	13

Tabela 3: GBFS para o 8-Puzzle

index	expanded	optimal_cost	time	avg_h	init_h
0	579	156	0.001247	7.008772	12
1	437	187	0.000973	6.869509	15
2	430	189	0.000992	6.610747	13
3	466	207	0.001046	6.945455	17
4	16	16	0.000048	5.500000	10
5	407	152	0.000908	6.590846	12
6	422	168	0.000926	6.612601	14
7	96	27	0.000218	8.054217	11
8	576	87	0.001465	6.730019	7
9	634	119	0.001387	7.052538	13
10	90	57	0.000214	6.809816	15
11	560	141	0.001205	6.932392	11
12	83	47	0.000199	5.891156	13
13	502	146	0.001111	6.734305	14
14	66	39	0.000179	6.134454	13
15	501	146	0.001091	6.698768	10
16	81	44	0.000192	6.510638	10
17	46	37	0.000115	7.869048	19
18	386	160	0.000840	6.806405	18
19	429	190	0.000942	6.808201	16
20	540	132	0.001206	6.774428	14
21	453	166	0.000994	6.643750	10
22	464	181	0.001039	6.876074	15

23	651	198	0.001443	7.221930	14
24	406	189	0.001009	6.628453	13
25	423	187	0.000931	6.837366	15
26	453	203	0.001000	6.817164	15
27	17	15	0.000062	5.382353	7
28	405	165	0.000901	6.697772	13
29	542	140	0.001169	6.953271	16
30	135	38	0.000299	8.691304	14
31	67	34	0.000166	7.914530	12
32	452	194	0.001005	6.759051	16
33	432	195	0.000973	6.809211	13
34	521	162	0.001163	6.914502	14
35	111	79	0.000254	7.827411	17
36	590	98	0.001297	6.833492	14
37	549	148	0.001183	6.898773	14
38	447	184	0.001001	6.728192	12
39	460	211	0.001043	6.956790	13
40	394	140	0.000889	6.472103	8
41	65	45	0.000156	7.798319	19
42	510	155	0.001128	6.728982	11
43	525	222	0.001119	6.770652	16
44	533	130	0.001163	6.888771	14
45	416	184	0.000934	6.963464	20
46	19	18	0.000055	7.472222	14
47	428	181	0.000955	6.787599	15
48	552	149	0.001564	6.852342	11
49	461	198	0.001036	7.300371	16
50	496	174	0.001258	7.079128	12
51	88	49	0.000203	7.538961	15
52	601	101	0.001281	6.789916	11
53	452	206	0.000996	7.279040	16
54	560	132	0.001234	6.863911	12
55	43	36	0.000123	7.333333	16
56	480	180	0.001038	6.946746	8
57	459	216	0.001004	7.028290	12
58	80	55	0.000201	7.758865	17
59	68	46	0.000160	6.628099	16
60	525	219	0.001125	6.796518	19
61	401	153	0.000884	6.597475	13
62	632	195	0.001387	7.222924	15
63	416	188	0.000919	6.955224	18
64	496	210	0.001099	7.478857	14
65	20	20	0.000064	7.916667	16
66	659	129	0.001443	7.118803	17

67	474	197	0.001041	6.955847	15
68	62	41	0.000149	7.633929	19
69	423	170	0.000952	6.562249	10
70	514	158	0.001131	6.832969	16
71	394	166	0.000866	6.625000	16
72	420	181	0.000936	6.912634	15
73	410	178	0.000905	6.706207	18
74	386	175	0.000857	6.514577	11
75	448	176	0.001103	6.877525	20
76	389	164	0.000941	6.535456	14
77	466	194	0.001195	6.904126	16
78	453	194	0.001000	6.616149	10
79	442	193	0.001029	6.836551	17
80	590	129	0.001303	6.828820	11
81	454	197	0.001011	7.008696	21
82	57	39	0.000145	5.575472	11
83	18	17	0.000057	7.257143	13
84	387	149	0.000876	6.435860	7
85	572	175	0.001232	7.080357	17
86	417	179	0.001018	6.644898	11
87	596	175	0.001278	7.102927	17
88	382	168	0.000825	6.388807	8
89	522	150	0.001231	6.742734	12
90	580	151	0.001414	7.113592	21
91	458	208	0.001016	6.909988	18
92	485	176	0.001070	6.989449	12
93	580	152	0.001251	6.989279	14
94	409	152	0.000911	6.717241	12
95	403	161	0.000881	6.648951	17
96	636	186	0.001402	7.133752	8
97	48	29	0.000121	5.715909	9
98	613	104	0.001353	6.960514	14
99	450	203	0.001080	6.843750	13

Tabela 4: IDA* para o 8-Puzzle

index	expanded	optimal_cost	time	avg_h	init_h
0	2631	22	0.004857	9.777477	12
1	3276	23	0.005939	10.597512	15
2	145	17	0.000272	9.975510	13
3	2720	25	0.005419	11.780205	17
4	165	16	0.000448	7.127660	10

5	1734	22	0.003337	9.244521	12
6	1741	22	0.003159	10.436064	14
7	439	21	0.000836	10.749660	11
8	464	17	0.000880	7.580686	7
9	611	21	0.001115	11.500000	13
10	724	23	0.001482	11.721380	15
11	1659	23	0.003019	10.909386	11
12	372	19	0.000676	9.068800	13
13	1420	22	0.002609	9.657540	14
14	465	19	0.000861	8.206289	13
15	2130	22	0.004059	9.634912	10
16	794	20	0.001593	9.228656	10
17	71	21	0.000132	12.918182	19
18	456	22	0.000965	11.539919	18
19	368	22	0.000680	10.902801	16
20	27	16	0.000058	9.534884	14
21	76	16	0.000160	8.552000	10
22	2805	25	0.005176	11.127852	15
23	805	22	0.001499	10.209165	14
24	1666	23	0.003161	10.284585	13
25	2470	25	0.004478	10.344306	15
26	1294	21	0.002800	9.681671	15
27	100	13	0.000205	6.927778	7
28	1609	23	0.002945	11.261372	13
29	225	24	0.000408	13.997214	16
30	1820	24	0.003321	11.522174	14
31	129	16	0.000242	9.470046	12
32	37	18	0.000089	10.150000	16
33	1500	23	0.002751	10.929143	13
34	4075	26	0.007525	11.365596	14
35	5873	27	0.010583	12.113041	17
36	487	22	0.000875	11.712329	14
37	5296	26	0.010034	11.095862	14
38	2349	22	0.004475	9.770342	12
39	5296	25	0.009917	10.857467	13
40	125	14	0.000238	7.921296	8
41	3436	25	0.006348	11.444859	19
42	1193	21	0.002359	9.670647	11
43	9239	26	0.017230	10.244306	16
44	2256	24	0.004161	10.433713	14
45	626	24	0.001101	13.150398	20
46	92	18	0.000184	10.092715	14
47	1145	23	0.002048	11.040827	15
48	1201	21	0.002216	10.724926	11

49	5557	28	0.010043	12.401030	16
50	730	20	0.001368	9.970346	12
51	9355	27	0.017210	10.635221	15
52	661	19	0.001235	8.784629	11
53	2195	26	0.003981	12.090733	16
54	257	18	0.000484	9.300000	12
55	2440	24	0.004624	10.667732	16
56	339	18	0.000636	8.485320	8
57	2316	24	0.004223	10.875812	12
58	272	23	0.000492	13.201389	17
59	3401	24	0.006190	10.829027	16
60	9544	27	0.017253	11.501403	19
61	8845	25	0.016471	9.669361	13
62	360	21	0.000662	10.364094	15
63	103	22	0.000191	13.370370	18
64	11359	28	0.020586	11.551013	14
65	406	20	0.000755	9.677515	16
66	8302	27	0.015128	11.225382	17
67	6762	27	0.012980	11.858462	15
68	2421	25	0.004420	11.359134	19
69	3944	24	0.007250	9.623635	10
70	899	24	0.001615	11.513861	16
71	868	22	0.001575	10.500691	16
72	14476	27	0.026373	10.902725	15
73	3141	26	0.005687	11.722717	18
74	8979	25	0.016463	9.914916	11
75	1631	26	0.003027	11.599096	20
76	413	20	0.000763	9.500000	14
77	8936	26	0.016330	10.442664	16
78	166	16	0.000330	8.806228	10
79	7986	27	0.014586	11.353676	17
80	490	19	0.000894	8.288136	11
81	324	25	0.000566	14.157058	21
82	56	15	0.000119	7.978022	11
83	83	17	0.000168	9.729927	13
84	186	15	0.000347	7.258675	7
85	2713	25	0.004920	11.474261	17
86	206	17	0.000386	9.255682	11
87	5691	27	0.010301	11.795375	17
88	1408	20	0.002592	8.118537	8
89	573	20	0.001059	9.430353	12
90	2764	27	0.005028	11.327991	21
91	2791	26	0.005074	10.974582	18
92	2006	22	0.003698	9.715261	12

93	1238	22	0.002262	10.961688	14
94	1016	22	0.001871	10.975783	12
95	244	19	0.000457	9.918317	17
96	722	20	0.001325	9.397551	8
97	2213	21	0.004105	8.091030	9
98	2265	24	0.004177	11.276845	14
99	3613	25	0.006630	10.675676	13

Tabela 5: IDFS para o 8-Puzzle

index	expanded	optimal_cost	time	avg_h	init_h
0	809224	22	1.594095	0.0	12
1	1659716	23	3.223457	0.0	15
2	56332	17	0.108097	0.0	13
3	3832745	25	7.647015	0.0	17
4	20305	16	0.039026	0.0	10
5	572929	22	1.096837	0.0	12
6	840836	22	1.634437	0.0	14
7	336804	21	0.630306	0.0	11
8	48030	17	0.092518	0.0	7
9	523656	21	0.997827	0.0	13
10	1183127	23	2.245408	0.0	15
11	1229083	23	2.301685	0.0	11
12	144153	19	0.272435	0.0	13
13	726908	22	1.386084	0.0	14
14	119854	19	0.222713	0.0	13
15	746437	22	1.420741	0.0	10
16	201422	20	0.380765	0.0	10
17	463439	21	0.874877	0.0	19
18	880730	22	1.719754	0.0	18
19	529433	22	1.053596	0.0	16
20	25389	16	0.051085	0.0	14
21	18803	16	0.036853	0.0	10
22	3233556	25	6.356876	0.0	15
23	559966	22	1.052474	0.0	14
24	1161412	23	2.193024	0.0	13
25	3012022	25	5.714929	0.0	15
26	533665	21	1.026831	0.0	15
27	6472	13	0.012415	0.0	7
28	1258485	23	2.376215	0.0	13
29	1506581	24	2.842707	0.0	16
30	2082556	24	4.138581	0.0	14

31	28816	16	0.058387	0.0	12
32	57963	18	0.112144	0.0	16
33	1339032	23	2.548491	0.0	13
34	5227219	26	9.901685	0.0	14
35	10582097	27	20.263315	0.0	17
36	618550	22	1.171912	0.0	14
37	5647709	26	10.830470	0.0	14
38	707091	22	1.339408	0.0	12
39	3906491	25	7.410705	0.0	13
40	13166	14	0.024970	0.0	8
41	4826279	25	9.281993	0.0	19
42	445186	21	0.839849	0.0	11
43	5301125	26	10.043754	0.0	16
44	1521264	24	2.846125	0.0	14
45	2550556	24	4.840870	0.0	20
46	60744	18	0.115320	0.0	14
47	1071876	23	2.058237	0.0	15
48	542261	21	1.034017	0.0	11
49	13426501	28	26.431404	0.0	16
50	323493	20	0.692335	0.0	12
51	9617303	27	19.138386	0.0	15
52	160297	19	0.304332	0.0	11
53	5150682	26	9.740252	0.0	16
54	86884	18	0.167055	0.0	12
55	2296791	24	4.357872	0.0	16
56	60654	18	0.113715	0.0	8
57	1715624	24	3.232862	0.0	12
58	1336827	23	2.546815	0.0	17
59	2536222	24	4.865215	0.0	16
60	15171649	27	28.944101	0.0	19
61	3587527	25	6.850989	0.0	13
62	344582	21	0.645280	0.0	15
63	599226	22	1.129779	0.0	18
64	15073854	28	28.493902	0.0	14
65	277227	20	0.531385	0.0	16
66	10843669	27	20.662855	0.0	17
67	10295974	27	19.793371	0.0	15
68	4095213	25	7.861362	0.0	19
69	1665813	24	3.162955	0.0	10
70	1583030	24	3.120269	0.0	16
71	792904	22	1.530153	0.0	16
72	12496979	27	23.910456	0.0	15
73	5225955	26	9.856790	0.0	18
74	4088312	25	7.827736	0.0	11

75	4873453	26	9.147614	0.0	20
76	214527	20	0.405548	0.0	14
77	5735592	26	10.946970	0.0	16
78	28881	16	0.055834	0.0	10
79	10128430	27	19.101740	0.0	17
80	110829	19	0.210804	0.0	11
81	3745531	25	7.114299	0.0	21
82	12608	15	0.023524	0.0	11
83	42323	17	0.080366	0.0	13
84	15054	15	0.028122	0.0	7
85	3814064	25	7.275329	0.0	17
86	51080	17	0.100351	0.0	11
87	10083429	27	19.618166	0.0	17
88	216000	20	0.419162	0.0	8
89	269408	20	0.507520	0.0	12
90	9608157	27	19.058748	0.0	21
91	4963354	26	9.975528	0.0	18
92	761900	22	1.406689	0.0	12
93	779904	22	1.510593	0.0	14
94	713444	22	1.338179	0.0	12
95	156601	19	0.291660	0.0	17
96	197513	20	0.367504	0.0	8
97	365116	21	0.688989	0.0	9
98	1905883	24	3.564819	0.0	14
99	3411288	25	6.530454	0.0	13

Tabela 6: A* para o 15-Puzzle

index	expanded	optimal_cost	time	avg_h	init_h
0	-	-	-	-	-
1	4415279.0	55.0	12.641342	23.394823	43.0
2	-	-	-	-	-
3	5253685.0	56.0	14.434761	26.620789	42.0
4	2021382.0	56.0	5.740389	28.153198	42.0
5	969356.0	52.0	2.656097	27.416488	36.0
6	7170013.0	52.0	20.477627	23.383736	30.0
7	2618503.0	50.0	7.253492	24.424523	32.0
8	313211.0	46.0	0.831367	21.503714	32.0
9	-	-	-	-	-
10	3525006.0	57.0	9.745909	28.750544	43.0
11	32334.0	45.0	0.092734	26.236208	35.0
12	831333.0	46.0	2.311676	19.507479	36.0

13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	909219.0	42.0	2.622408	18.651622	24.0
16	-	-	-	-	-
17	1267588.0	55.0	3.326145	27.259433	43.0
18	154092.0	46.0	0.388324	22.98715	36.0
19	1995813.0	52.0	5.421353	24.572979	36.0
20	5668025.0	54.0	15.520524	26.403395	34.0
21	-	-	-	-	-
22	1398857.0	49.0	3.701399	24.277053	33.0
23	4691710.0	54.0	12.614542	26.312234	34.0
24	6227205.0	52.0	17.334509	24.700272	32.0
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	909442.0	52.0	2.435776	27.87271	36.0
28	3917549.0	54.0	10.795504	26.119066	38.0
29	215990.0	47.0	0.559492	24.840169	35.0
30	192534.0	50.0	0.483055	28.16481	38.0
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-
33	2063117.0	52.0	5.664377	25.982463	36.0
34	4626661.0	55.0	12.585618	26.974809	39.0
35	2309697.0	52.0	6.255826	25.791491	36.0
36	-	-	-	-	-
37	827864.0	53.0	2.175981	28.710055	41.0
38	1118025.0	49.0	3.040721	24.280758	35.0
39	6540243.0	54.0	18.462433	26.380557	36.0
40	5727374.0	54.0	15.847054	26.121909	36.0
41	48447.0	42.0	0.121572	23.300039	30.0
42	7332466.0	64.0	19.842697	33.052826	48.0
43	2731989.0	50.0	7.517411	24.607501	32.0
44	539196.0	51.0	1.421971	27.316122	39.0
45	1430455.0	49.0	3.832111	22.917919	35.0
46	179689.0	47.0	0.502084	25.475309	35.0
47	119535.0	49.0	0.305472	25.168521	39.0
48	-	-	-	-	-
49	4399444.0	53.0	12.183731	25.099392	39.0
50	3031922.0	56.0	8.423601	28.074825	44.0
51	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-
53	7221615.0	56.0	20.520273	27.82072	40.0
54	152123.0	41.0	0.386434	20.696139	29.0
55	-	-	-	-	-
56	484048.0	50.0	1.31405	26.117385	36.0

57	506538.0	51.0	1.340598	25.545294	37.0
58	-	-	-	-	-
59	-	-	-	-	-
60	508957.0	45.0	1.388391	21.727099	31.0
61	1828847.0	57.0	4.981918	29.084569	43.0
62	-	-	-	-	-
63	5622335.0	51.0	15.525928	23.618298	31.0
64	920623.0	47.0	2.563041	22.622819	31.0
65	-	-	-	-	-
66	8430894.0	50.0	23.815651	23.921401	28.0
67	5471060.0	51.0	15.364924	25.117996	31.0
68	4579005.0	53.0	12.684378	25.34284	37.0
69	8179227.0	52.0	23.027241	24.664403	30.0
70	557862.0	44.0	1.508744	20.630122	30.0
71	-	-	-	-	-
72	188717.0	49.0	0.483636	23.873066	37.0
73	1373939.0	56.0	3.662138	28.771618	46.0
74	3440513.0	48.0	9.755784	22.060243	30.0
75	7622602.0	57.0	21.482838	27.729741	41.0
76	2184110.0	54.0	5.886461	27.59798	34.0
77	619299.0	53.0	1.626898	27.380697	41.0
78	68633.0	42.0	0.183666	21.781103	28.0
79	3951356.0	57.0	10.991081	26.913583	43.0
80	744209.0	53.0	2.075009	28.051743	39.0
81	-	-	-	-	-
82	1900358.0	49.0	5.28422	24.127775	31.0
83	-	-	-	-	-
84	158355.0	44.0	0.407023	20.888586	32.0
85	195222.0	45.0	0.506334	22.290463	35.0
86	4681483.0	52.0	12.863281	25.96204	34.0
87	-	-	-	-	-
88	3559259.0	54.0	9.915833	26.461863	38.0
89	820923.0	50.0	2.22081	26.079187	36.0
90	-	-	-	-	-
91	-	-	-	-	-
92	438960.0	46.0	1.204162	20.965217	34.0
93	276325.0	53.0	0.709196	27.76656	45.0
94	751475.0	50.0	2.030893	25.0634	34.0
95	1263033.0	49.0	3.581763	22.922221	35.0
96	191601.0	44.0	0.547552	21.267765	32.0
97	9499694.0	54.0	26.744759	25.127289	34.0
98	5342754.0	57.0	14.41994	28.762484	39.0
99	4484857.0	54.0	12.485773	25.170228	38.0

