

3

Resultados

Os resultados obtidos utilizando as técnicas mencionadas no capítulo anterior estão descritos aqui e serão discutidos no próximo capítulo. Apenas seus aspectos mais evidentes são comentados aqui.

As concentrações e pressões estudadas neste trabalho estão listadas na tabela 3.1 e apresentadas separadamente ao longo deste capítulo.

Medidas de resistividade elétrica com campo magnético aplicado foram realizadas em algumas amostras sob pressão de 19kbar em uma única oportunidade que surgiu antes que o laboratório de criogenia parasse para reformas.

Código	Concentração (x)	Pressão (kbar) [Campo magnético (T)]
NM256	0,15	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 19 [0, 1T, 1,5T, 2T, 2,5T]
PG370	0,25	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 19 [0, 1T, 1,5T, 2T, 2,5T]
NM306	0,40	ambiente
PG378	0,50	ambiente
NM305	0,60	ambiente, 2, 4, 7, 9, 10, 12
NM304	0,70	ambiente
PG372	0,75	ambiente, 2, 4, 7, 9, 10, 12
NM303	0,80	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 19 [0, 1T, 1,5T, 2T, 2,5T]
NM288	0,90	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 19 [0, 1T, 1,5T, 2T, 2,5T]

Tabela 3.1: Pressões e campos magnéticos estudados na série $Ce_2Rh_{1-x}Ir_xIn_8$ em função da concentração.

As próximas páginas apresentam os resultados agrupados por concentração e ordenados de forma crescente em relação à concentração de irídio diluído em Ce_2RhIn_8 .

Em todos os resultados apresentados abaixo, a temperatura de Néel (T_N) foi determinada a partir de uma inflexão na curva de resistividade, que pôde ser seguida até valores máximos de pressão diferentes para cada concentração. A temperatura de Néel a pressão ambiente era conhecida da literatura (Moreno et al.) na maioria dos casos e coincidiu com os dados obtidos. A figura 3.1 mostra um exemplo do procedimento utilizado na determinação de T_N .

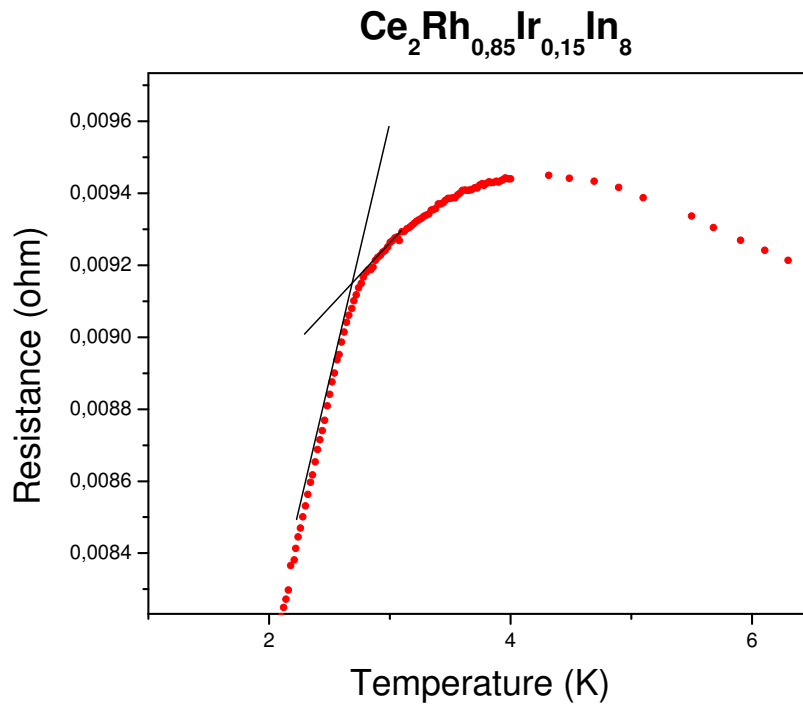


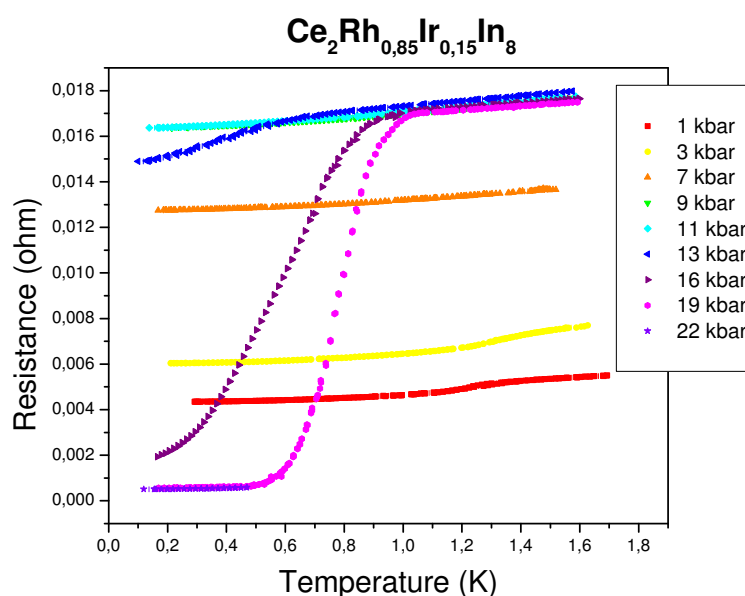
Figura 3.1: Determinação da temperatura de Néel.

3.1

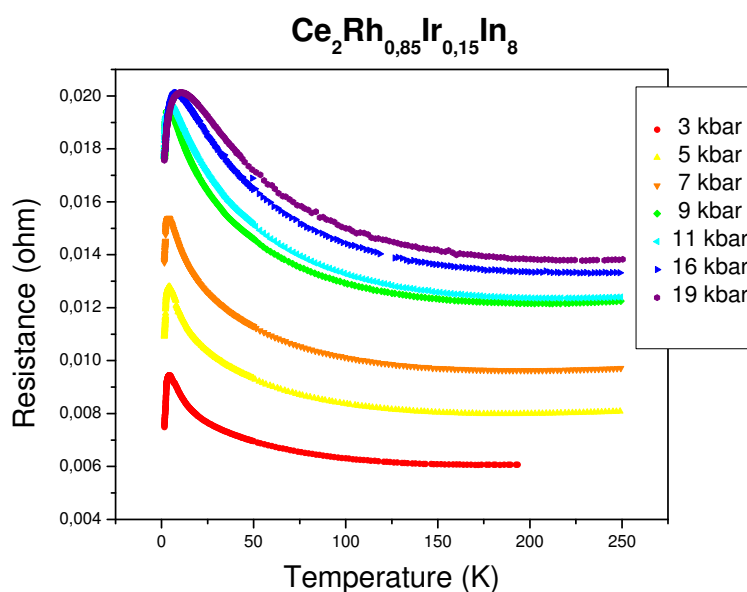
Amostra com $x=0,15$

3.1.1

Medidas de resistência elétrica sob pressão para $x=0,15$ e $B=0$



3.2(a): Medidas abaixo de 1,5K.



3.2(b): Medidas acima de 1,5K.

Figura 3.2: Resistência elétrica sob pressão em função da temperatura da amostra $Ce_2Rh_{1-x}Ir_xIn_8$ com $x=0,15$.

Como pode ser visto na figura 3.2a, a amostra de $Ce_2Rh_{0.85}Ir_{0.15}In_8$ (código NM256) mostra transições para resistência não nula que se iniciam em 11kbar. Com o aumento da pressão, as transições vão ficando mais definidas e estreitas, sugerindo que as mesmas são supercondutoras e que o fato de não atingirem o valor zero pode ser devido à presença de trincas na amostra, ou entre os contatos e a amostra.

Nota-se também que a aplicação de pressão aumenta a resistência residual, refletindo um aumento do espalhamento eletrônico. Este aumento parece atingir uma saturação em torno de 16kbar.

3.1.2

Medidas de resistência elétrica sob pressão para $x=0.15$ e $B > 0$

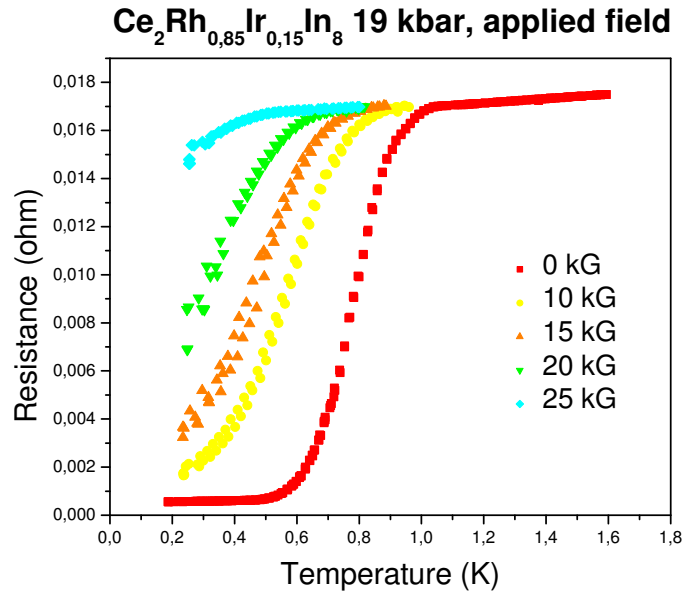


Figura 3.3: Medidas de resistividade com campo aplicado e pressão hidrostática ($x=0.15$)

A figura 3.3 mostra as medidas de resistência elétrica realizadas com campo magnético e pressão de 19kbar para a concentração $x=0.15$.

As medidas com campo magnético foram realizadas com a amostra sob pressão de 19kbar em campos de até 2,5T. O ruído impediu que campos mais altos fossem atingidos, provavelmente por causa da vibração do insert do refrigerador de diluição dentro da bobina.

Concentração Ir	Pressão	Transições				
		T_c (K)	T_*	T_N (K)	T_{max}	T_{min}
15%	1	-	1,35	2,80	4,13	-
	3	-	1,43	2,61	4,32	-
	5	-	2,17	2,49	4,18	-
	7	-	-	2,22(?)	3,96	183
	9	-	-	1,99(?)	3,80	202
	11	-	-	2,19(?)	5,40	201
	13	0,635	-	2,24(?)	7,68	-
	16	0,851	-	-	11,20	-
	19	0,91	-	-	-	-
	22	-	-	-	-	-

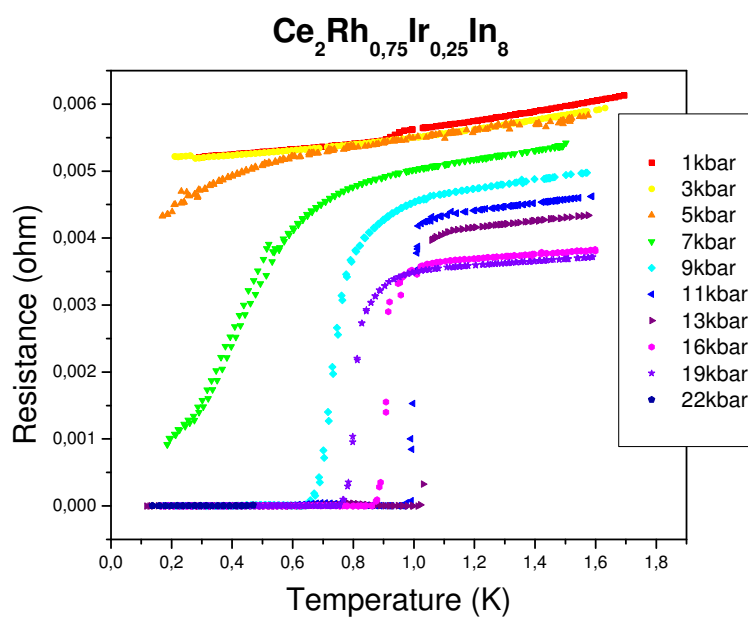
Tabela 3.2: Valores obtidos das medidas de resistividade da amostra com $x=0.15$. T_* representa a transição visível nas curvas resistividade em baixas temperaturas a 1kbar e 3kbar. T_{min} é a temperatura do mínimo em altas temperaturas (aprox. 200K) aparente nas pressões de 7kbar, 9kbar e 11kbar.

3.2

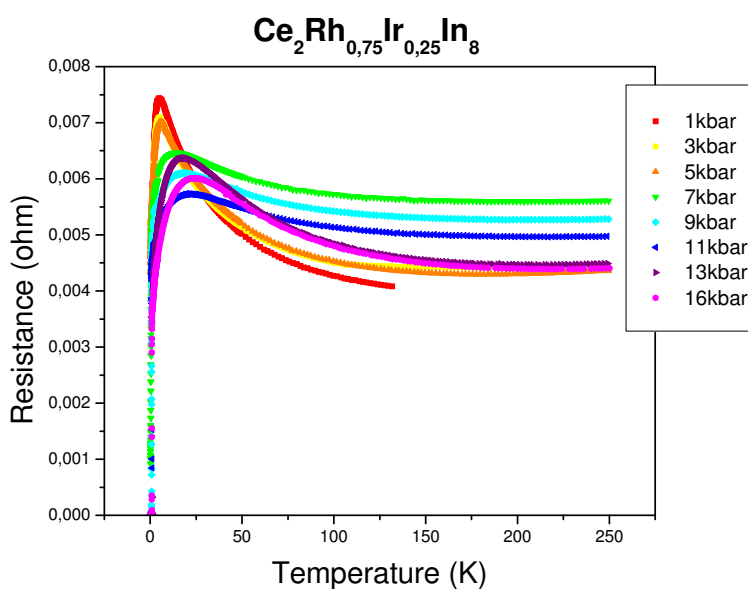
Amostra com $x=0,25$

3.2.1

Medidas de resistividade sob pressão com $x=0,25$ e $B=0$



3.4(a): Medidas abaixo de 1,5K.



3.4(b): Medidas acima de 1,5K.

Figura 3.4: Resistividade elétrica sob pressão da amostra com 25% de irídio.

A figura 3.4 mostra as curvas de resistência elétrica sob pressão da amostra com $x=0,25$ e $B=0$.

Na figura 3.4a podemos observar que a amostra de $Ce_2Rh_{0,75}Ir_{0,25}In_8$ (código PG370) exhibe os primeiros sinais da transição para o estado de resistência zero (ZR) a 3kbar. Observa-se também que, ao contrário da amostra de 15%, a aplicação de pressão na amostra com $x=0,25$ reduz a resistência residual. A taxa de redução é mais acentuada entre 5kbar e 11kbar.

Na figura 3.4b, o máximo da resistência se alarga com a aplicação de pressão, mas este comportamento é mais acentuado em pressões acima de 7kbar. Este tipo de comportamento pode ser atribuído ao aumento da degenerescência dos estados eletrônicos f com o aumento da pressão.

Os valores associados a T_c e T_N estão listados na tabela 3.3.

3.2.2

Detalhe de possível supercondutividade reentrante

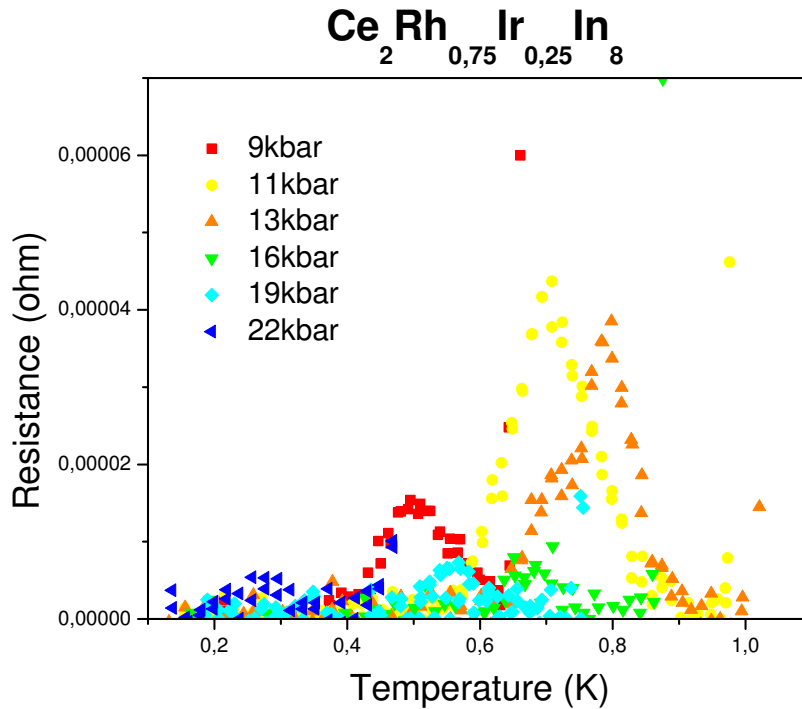


Figura 3.5: Possível supercondutividade reentrante na amostra com $x = 0.25$

Uma observação mais detalhada na região abaixo da transição ZR revela que a amostra deixa de ser supercondutora e volta a sê-lo conforme a tem-

peratura diminui, caracterizando um possível estado de supercondutividade reentrante visível na figura 3.5.

3.2.3

Medidas de resistência elétrica com campo aplicado e pressão hidrostática (x=0.25)

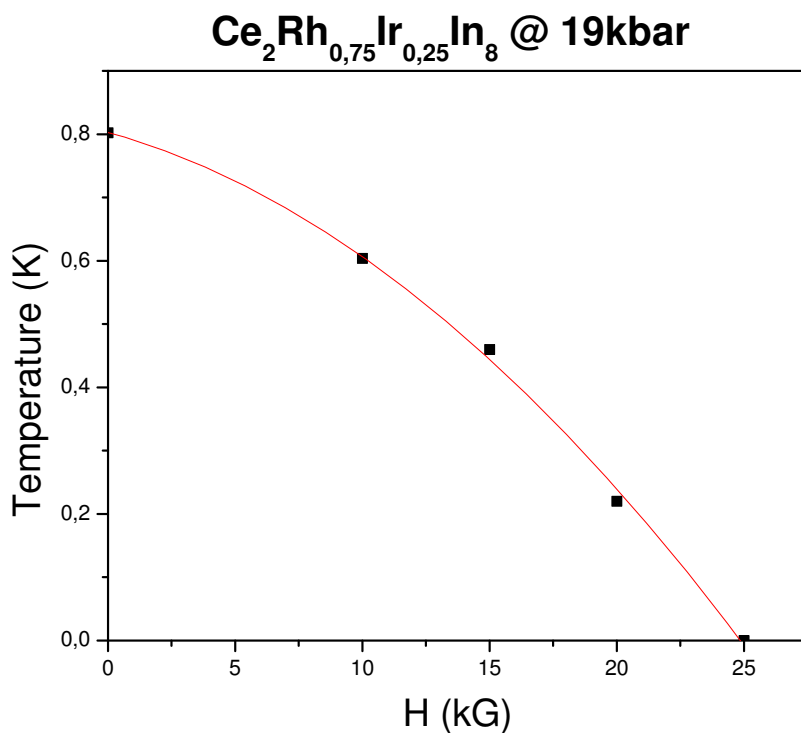


Figura 3.6: Medidas de resistência elétrica com campo aplicado e pressão hidrostática na amostra com x=0.25 e p=19kbar.

As medidas com campo foram realizadas somente à pressão de 19kbar e podem ser vistas na figurafig:field25. O campo necessário para suprimir a supercondutividade nesta concentração de irídio é 2,5T.

Concentração Ir	Pressão	Transições					
		$T_c(K)$	$T_{\star}$	$T_N(K)$	$T_{re}(K)$	T_{max}	T_{min}
25%	1	-	0,96	2,4	-	4,99	-
	3	-	-	2,55	-	4,85	-
	5	0,43	-	2,5	-	5,59	185
	7	0,65	-	2,5	-	14,62	-
	9	0,79	-	-	0,49	17,42	-
	11	1,01	-	-	0,69	19,62	-
	13	1,05	-	-	0,78	18,32	-
	16	0,92	-	-	0,68	24,49	-
	19	0,82	-	-	0,56	-	-
	22	0,55	-	-	0,27	-	-

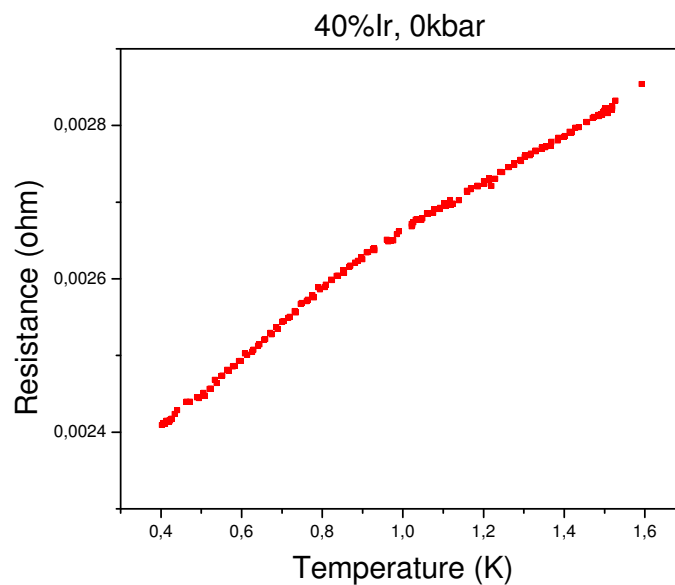
Tabela 3.3: Valores obtidos das medidas de resistividade da amostra com x=0.25

3.3

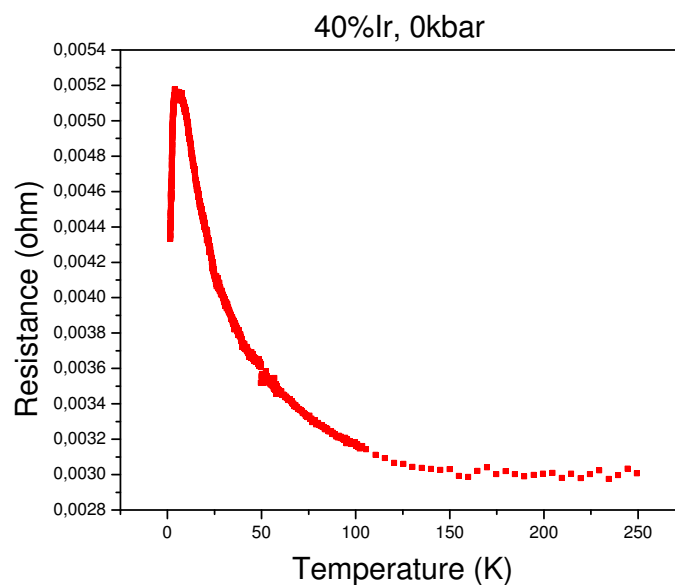
Amostras com $x=0,40$

3.3.1

Medidas de resistência elétrica sob pressão para $x=0.15$ e $B=0$



3.7(a): Medidas abaixo de 1,5K.



3.7(b): Medidas acima de 1,5K.

Figura 3.7: Resistividade elétrica sob pressão da amostra com 40% de irídio.

Somente duas medidas foram realizadas em amostras de

$Ce_2Rh_{0.60}Ir_{0.40}In_8$ (código NM306), pois vazamentos consecutivos destruíram todo o conteúdo de duas células de pressão durante as primeiras tentativas de aplicação de pressão.

A primeira medida foi realizada na faixa de 0K a 1,5K e a segunda, em outra amostra, entre 1,5K e 4K.

A figura 3.7 mostra os resultados obtidos, onde uma aparente transição magnética é visível em torno de 0,9K. Nota-se, também, a ausência de transições supercondutoras.

3.4

Amostra com $x=0,50$

A amostra $Ce_2Rh_{0.50}Ir_{0.50}In_8$ (código PG378) foi a primeira deste trabalho a apresentar uma transição para um estado de resistência zero a pressão ambiente (figura 3.8).

A relevância deste fato levou à decisão de retirá-la da célula de pressão e enviá-la para o Laboratório Nacional de Los Alamos afim de que fossem realizadas medidas de calor específico para comprovação da supercondutividade. A sua pequena massa (aprox. 0.1mg), porém, dificultou a realização das medidas, colocando os resultados muito próximos do limite de detecção.

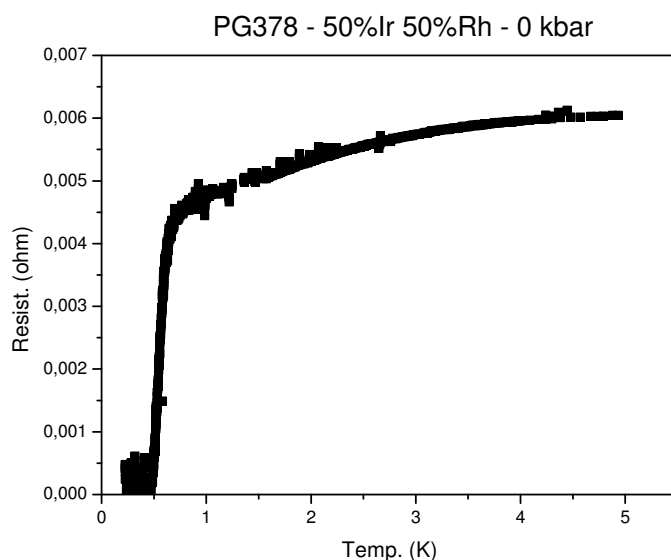
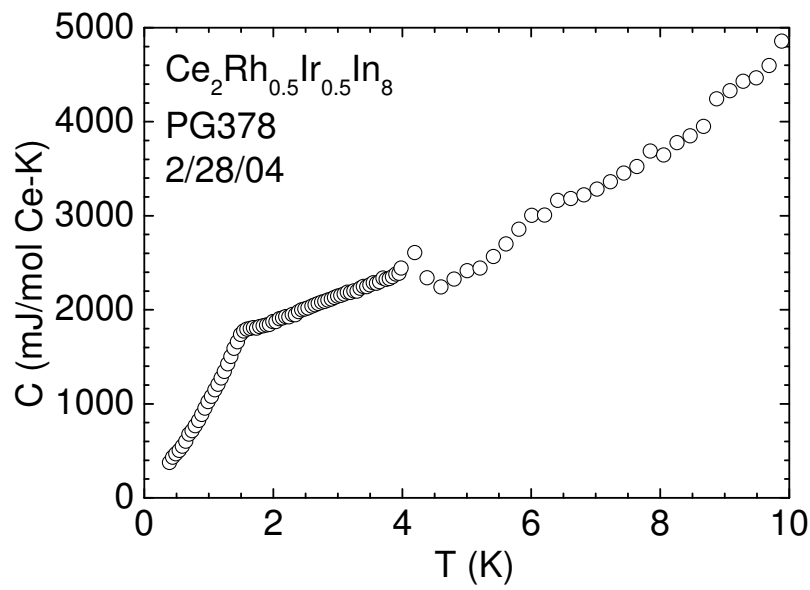


Figura 3.8: Resistividade elétrica da amostra com 50% de irídio.

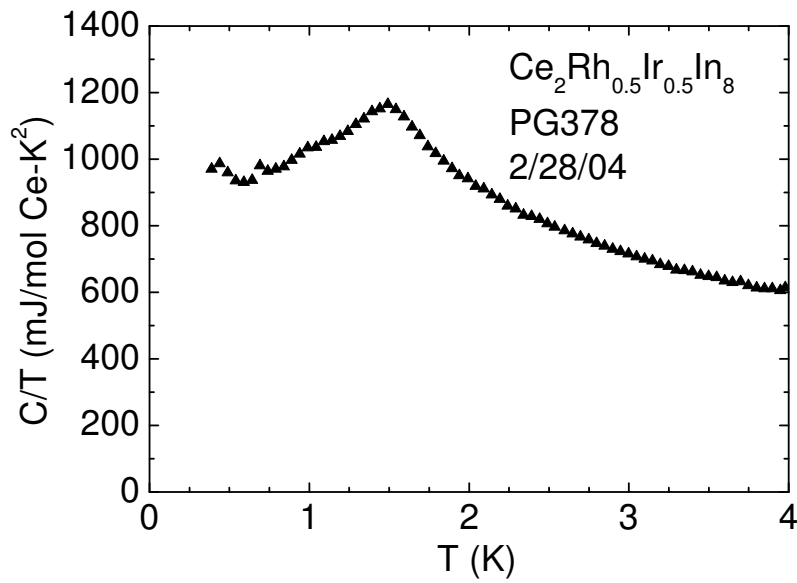
Pode-se notar na figura 3.9a que a transição antiferromagnética (T_N) nesta amostra é claramente visível em torno de 1,8K. Este valor, comparado com o da literatura (Moreno et al), situa a concentração real de irídio desta amostra em torno de 57%.

Na figura 3.9b, um pequeno sinal, possivelmente relacionado à supercondutividade, pode ser observado em torno de 0,4K. A transição para resistência zero, porém acontece em torno de 0,6K. Alguns compostos mais próximos do Ir puro da família 115 também apresentam este tipo de comportamento (39).

Pode-se ver na figura 3.9 que o valor de γ inferido por extrapolação para $T=0$ do comportamento a temperaturas mais altas é de aproximadamente $1J/mol\ Ce\ K^2$.



3.9(a): Calor específico, $C \times T$



3.9(b): Calor específico, $C/T \times T$

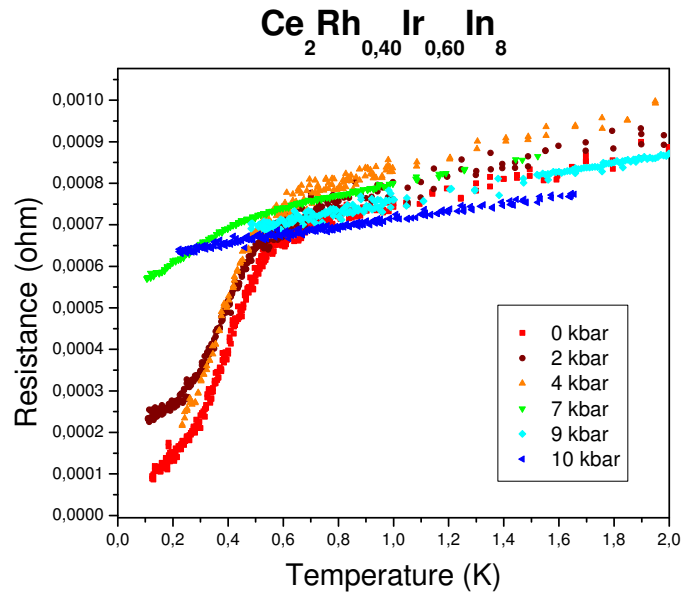
Figura 3.9: Medidas de calor específico realizadas na amostra com 50% de irídio.

3.5

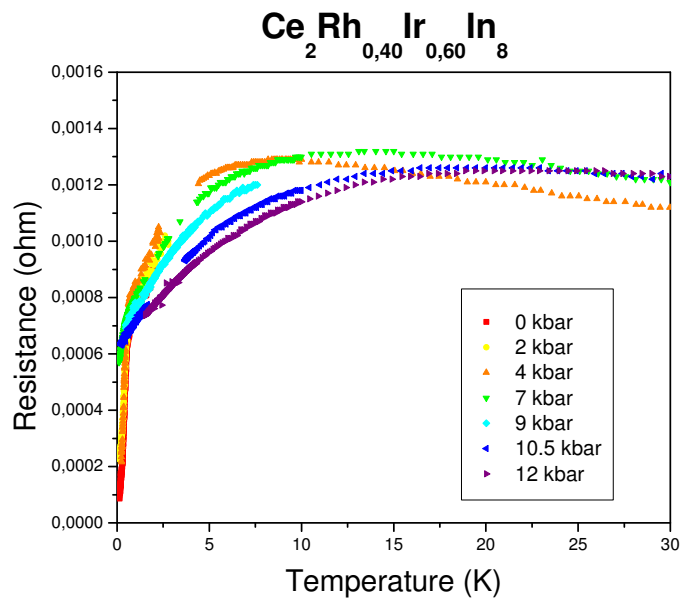
Amostra com $x=0,60$

3.5.1

Medidas de resistividade sob pressão ($x=0,60$), sem campo



3.10(a): Medidas abaixo de 1,5K.



3.10(b): Medidas acima de 1,5K.

Figura 3.10: Resistividade sob pressão da amostra com 60% de irídio.

Nesta amostra a aplicação de pressão inibe a supercondutividade, levando a transição supercondutora para temperaturas mais baixas. O máximo da resistividade também se alarga com a pressão, mas a resistividade residual se mantém em torno do mesmo valor.

A amostra de $Ce_2Rh_{0.40}Ir_{0.60}In_8$ (código NM305) é a segunda amostra da série a apresentar transições estreitas e bem definidas, porém que não atingem o zero de resistência. Atribui-se tal fato a possíveis trincas na amostra ou nos contatos como no caso daquela com $x=0,15$.

Concentração Ir	Pressão	Transições				
		$T_c(K)$	T_*	$T_N(K)$	T_{max}	T_{min}
60%	0	0,55	-	1,66	-	-
	2	0,53	-	-	-	-
	4	0,51	-	-	8,38	-
	7	0,44	-	-	13,10	-
	9	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	18,38	-
	12	-	-	-	21,32	-

Tabela 3.4: Valores obtidos das medidas de resistividade da amostra com $x=0.60$

3.6

Amostra com $x=0,70$

A única medida de resistividade elétrica realizada na amostra $Ce_2Rh_{0,30}Ir_{0,70}In_8$ (código NM304) neste trabalho pode ser vista no gráfico abaixo.

Vazamentos consecutivos nas células de pressão impediram que outras medidas fossem realizadas nesta amostra e destruíram uma segunda amostra.

Uma transição para resistência zero pode ser vista na figura 3.11, com T_c aproximadamente igual a 0,5K.

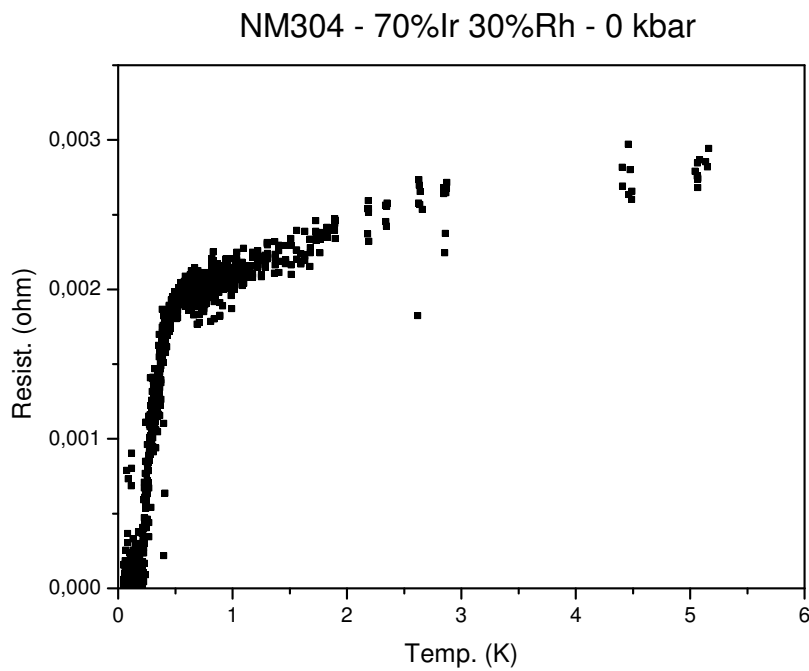


Figura 3.11: Resistividade sob pressão da amostra com 70% de irídio.

3.7

Amostra com $x=0,75$

3.7.1

Medidas de resistividade sob pressão ($x=0,75$), sem campo

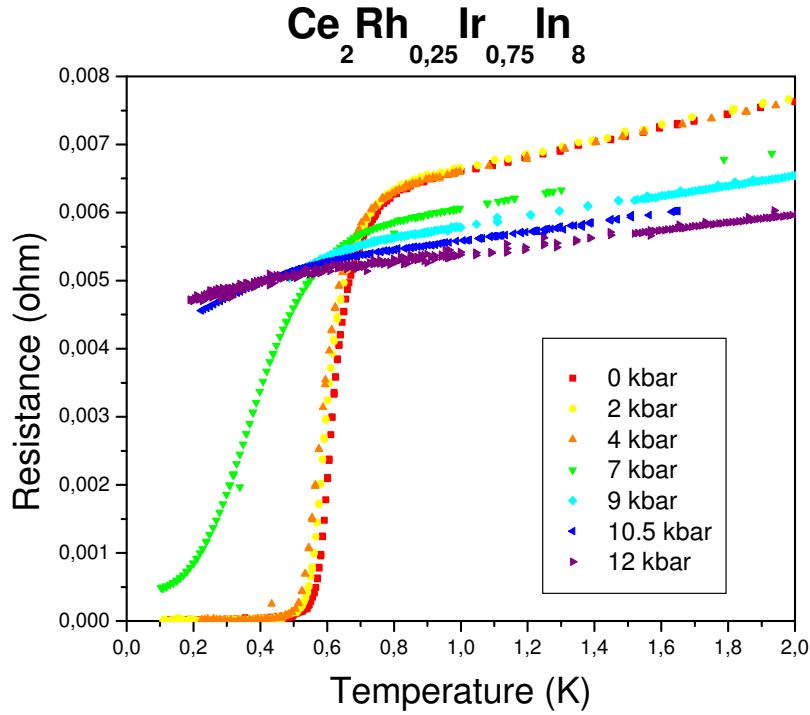


Figura 3.12: Resistência sob pressão em função da temperatura na amostra com $x=0,75$, para temperaturas abaixo de 1,5K.

As figuras 3.12 e 3.13 mostram medidas de resistência elétrica realizadas na amostra de $Ce_2Rh_{0,25}Ir_{0,75}In_8$ (código PG372). O comportamento exibido é análogo ao da amostra com $x=0,60$, onde a aplicação de pressão inibe a supercondutividade, levando T_c a valores mais baixos.

A largura do máximo da resistividade aumenta com a pressão aplicada, enquanto a resistividade residual é reduzida.

A transição supercondutora, estreita e bem definida à pressão ambiente, se alarga com a aplicação de pressão e não atinge mais a resistência zero acima de 7kbar.

Os valores de T_{max} , T_N e T_c são mostrados na tabela 3.5.

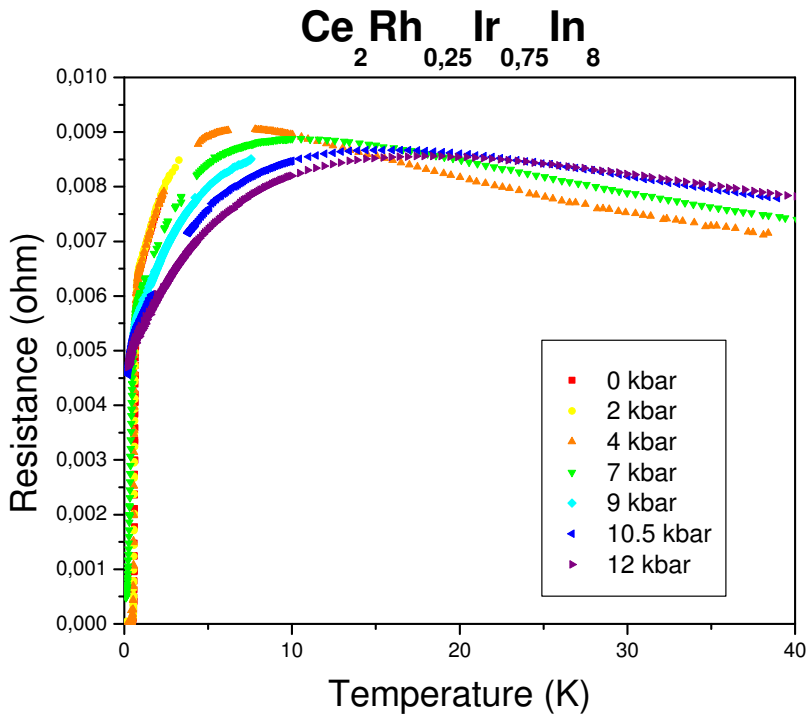


Figura 3.13: Resistência sob pressão em função da temperatura na amostra com $x=0,75$, para temperaturas acima de 1,5K.

Concentração Ir	Pressão	Transições				
		$T_c(K)$	$T_{\star}$	$T_N(K)$	T_{max}	T_{min}
75%	0	0,67	-	1,24	-	-
	2	0,65	-	-	-	-
	4	0,66	-	-	7,79	-
	7	0,55	-	-	9,80	-
	9	0,64	-	-	-	-
	10	0,50	-	-	14,40	-
	12	0,45	-	-	17,40	-

Tabela 3.5: Valores obtidos das medidas de resistividade da amostra com $x=0.75$

3.8

Amostra com $x=0,80$

3.8.1

Medidas de resistência elétrica sob pressão com $x=0,80$ e $B=0$

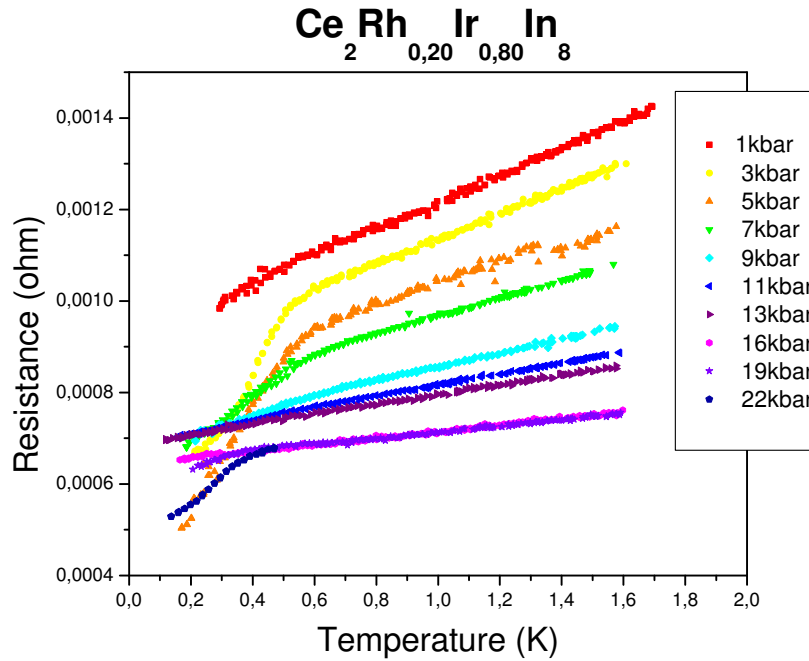


Figura 3.14: Medidas de resistência elétrica abaixo de 1,5K sob pressão da amostra com $x=0,80$.

As figuras 3.14 e 3.15 mostram os resultados de medidas de resistência elétrica na amostra $Ce_2Rh_{0,20}Ir_{0,80}In_8$ (código NM303). Pode-se notar a ausência de transições para o estado de resistência zero a temperaturas acima de 150mK. Algumas transições de origem desconhecida podem ser vistas em torno de 5kbar e de 19kbar. Nota-se, também, que a aplicação de pressão reduz a resistência elétrica e alarga seu máximo.

Os valores de T_c , T_N e T_{max} obtidos das medidas se encontram na tabela 3.8.2.

3.8.2

Medidas de resistividade com campo aplicado e pressão hidrostática ($x=0,80$)

Medidas de resistividade com campo foram realizadas no conjunto de amostras ao qual esta pertence, a 19kbar e com o campo variando de 0 a 2,5T.

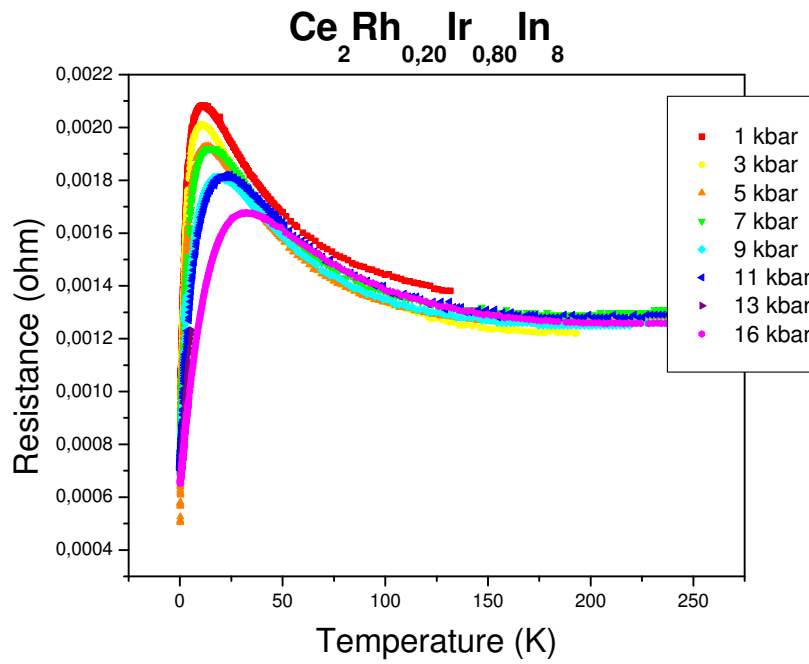


Figura 3.15: Medidas de resistência elétrica acima de 1,5K sob pressão da amostra com $x=0,80$.

Os resultados não mostram nenhuma variação significativa da resistividade com campo e podem ser vistos na figura 3.16.

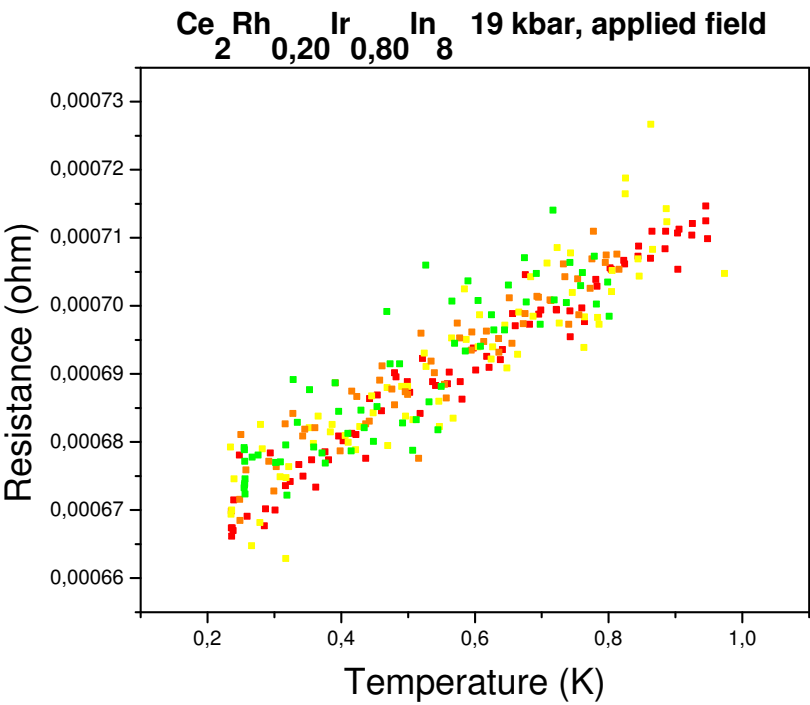


Figura 3.16: Medidas de resistividade com campo aplicado e pressão hidrostática (x=0.80). Os valores do campo variaram de 10kG (vermelho) a 25 kG (verde) em passos de 5kG.

Concentração Ir	Pressão	Transições				
		T_c (K)	T_*	T_N (K)	T_{max}	T_{min}
80%	1	-	-	0,92	11,01	-
	3	-	0,52	-	10,11	-
	5	-	0,51	-	13,81	-
	7	-	0,59	-	14,61	200
	9	-	0,64	-	16,23	202
	11	-	-	-	22,00	-
	13	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	32,45	-
	19	-	0,42	-	-	-
	22	-	-	-	-	-

Tabela 3.6: Valores obtidos das medidas de resistência elétrica realizadas na amostra com x=0.80

3.9

Amostra com $x=0,95$

3.9.1

Medidas de resistividade sob pressão ($x=0,95$), sem campo

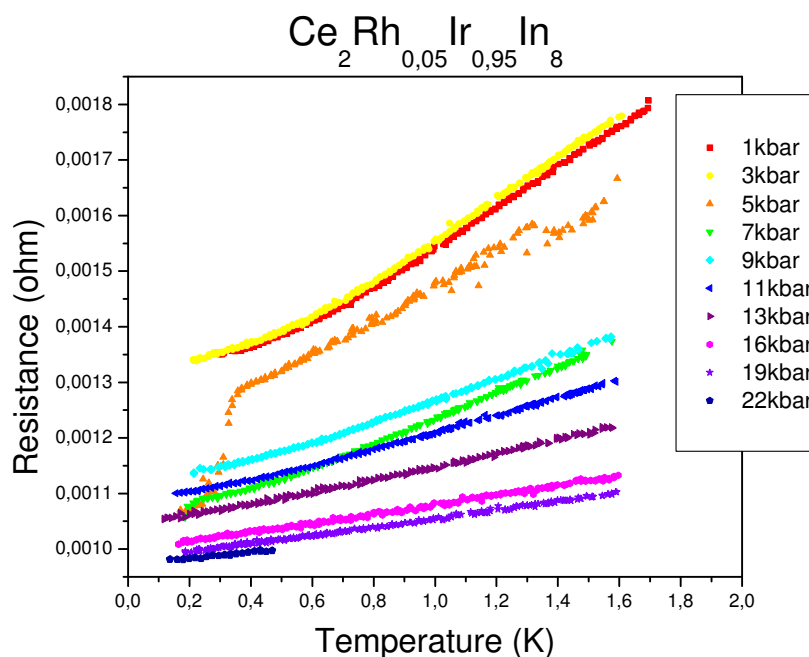


Figura 3.17: Medidas de resistividade sob pressão abaixo de 1,5K da amostra com 95% de irídio.

As figuras 3.17 e 3.17 mostram os resultados de medidas de resistência elétrica sob pressão obtidos da amostra de $Ce_2Rh_{0,05}Ir_{0,95}In_8$ ($x=0,95$, código NM288).

Pode-se observar que a resistência residual apresenta um comportamento mal definido em pressões abaixo de 7kbar. Após esta faixa de pressões, porém, começa a diminuir suavemente com a pressão aplicada.

Seguindo o que parece ser uma tendência comum nestas amostras, o máximo da resistividade se alarga com a aplicação de pressão.

Uma transição bem definida surge em 5kbar, mas não atinge a resistência zero, reduzindo em apenas 20% sua amplitude.

Os valores de T_c , T_N e T_{max} obtidos das medidas se encontram na tabela 3.7.

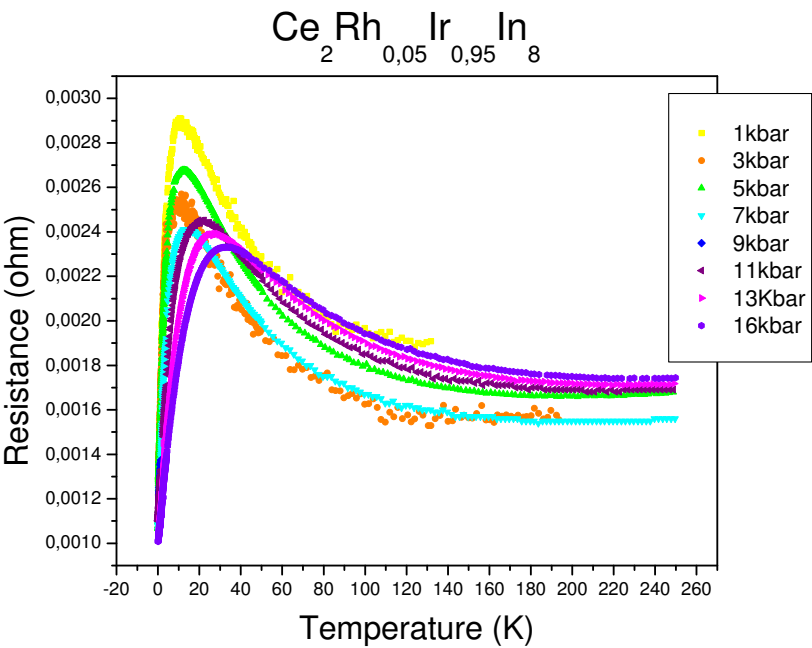


Figura 3.18: Medidas de resistividade sob pressão acima de 1,5K da amostra com 95% de irídio.

3.9.2
Medidas de resistência elétrica com campo aplicado e pressão hidrostática (x=0.95)

Como pode-se notar na figura 3.19, as medidas de resistência elétrica com campo aplicado e pressão de 19kbar não revelaram nada de significativo além de um leve aumento da resistência residual.

Concentração Ir	Pressão	Transições				
		T_c (K)	T_*	T_N (K)	T_{max}	T_{min}
95%	1	-	0,57	-	10,4	-
	3	-	0,623	-	11,32	-
	5	-	-	-	12,78	202
	7	-	-	-	13,80	205
	9	-	-	-	9,62	202
	11	-	-	-	19,42	220(?)
	13	-	-	-	26,72	-
	16	-	-	-	33,68	-
	19	-	-	-	-	-
	22	-	-	-	-	-

Tabela 3.7: Valores obtidos das medidas de resistividade da amostra com x=0.95

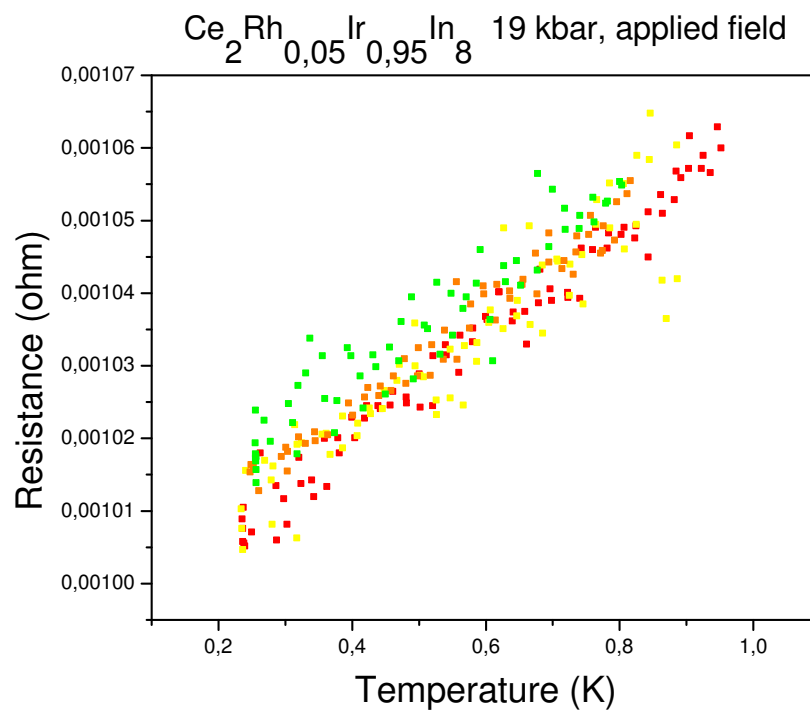


Figura 3.19: Medidas de resistividade com campo aplicado e pressão hidrostática ($x=0.95$). Os valores do campo variaram de 10kG (vermelho) a 25 kG (verde) em passos de 5kG.